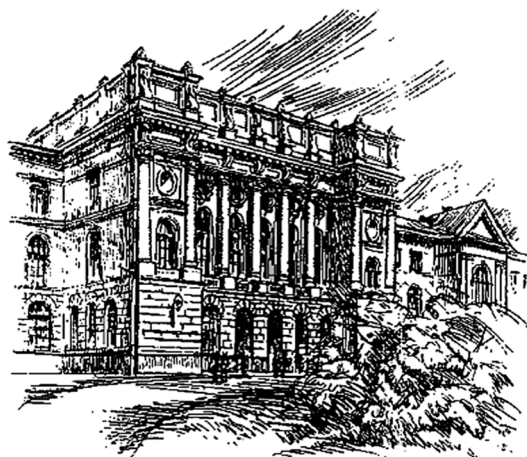


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Информатика. Телекоммуникации.
Управление

5(157) 2012

Издательство Политехнического университета
Санкт-Петербург
2012

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Алферов Ж.И., академик РАН; *Васильев Ю.С.*, академик РАН (председатель);
Костюк В.В., академик РАН; *Лопота В.А.*, чл.-кор. РАН;
Окрепилов В.В., академик РАН; *Рудской А.И.*, чл.-кор. РАН;
Патон Б.Е., академик НАН Украины и РАН; *Федоров М.П.*, академик РАН;
Фортов В.Е., академик РАН.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Васильев Ю.С., академик РАН (главный редактор); *Арсеньев Д.Г.*, д-р техн. наук, профессор;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор (зам. гл. редактора);
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор; *Глухов В.В.*, д-р экон. наук, профессор;
Дегтярева Р.В., д-р ист. наук, профессор; *Иванов А.В.*, д-р техн. наук, профессор;
Иванов В.К., д-р физ.-мат. наук, профессор; *Козловский В.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН (зам. гл. редактора); *Юсупов Р.М.*, чл.-кор. РАН.

ИНФОРМАТИКА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. УПРАВЛЕНИЕ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Абрамов С.М., чл.-кор. РАН;
Воеводин В.В., чл.-кор. РАН;
Заборовский В.С., д-р техн. наук, профессор;
Козлов В.Н., д-р техн. наук, профессор;
Фотиади А.Э., д-р физ.-мат. наук, профессор;
Черноруцкий И.Г., д-р техн. наук, профессор.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Арсеньев Д.Г., д-р техн. наук, профессор – зам. председателя;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор – зам. председателя;
Антонов В.И., д-р техн. наук, профессор;
Голландцев Ю.А., д-р техн. наук, профессор;
Карпов Ю.Г., д-р техн. наук, профессор;
Коротков А.С., д-р техн. наук, профессор;
Макаров С.Б., д-р техн. наук, профессор;
Устинов С.М., д-р техн. наук, профессор;
Цикин И.А., д-р техн. наук, профессор;
Шкодырев В.П., д-р техн. наук, профессор;
Клавдиев В.Е., канд. техн. наук, доцент.

Журнал с 1995 года издается под научно-методическим руководством Российской академии наук.

Журнал с 2002 года входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Сведения о публикациях представлены в Реферативном журнале ВИНИТИ РАН, в международной справочной системе «Ulrich`s Periodical Directory».

Журнал зарегистрирован в Госкомпечати РФ. Свидетельство № 013165 от 23.12.94.

Подписной индекс **18390** в каталоге «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать».

Журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки на сайте <http://www.elibrary.ru>.

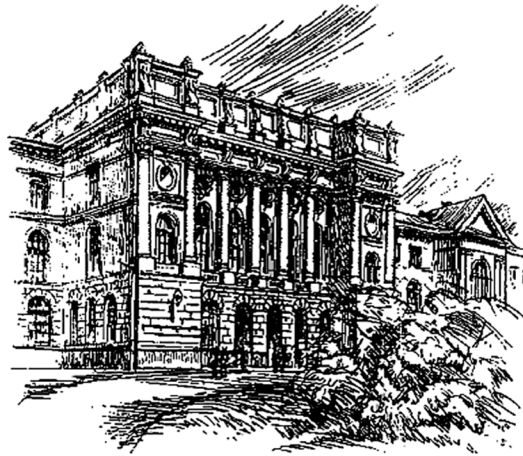
При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции и издательства: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
Тел. редакции (812) 552-62-16.

© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2012

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION



ST. PETERSBURG STATE POLYTECHNICAL UNIVERSITY JOURNAL

Computer Science.
Telecommunications and Control Systems

5(157) 2012

Polytechnical University Publishing House
Saint Petersburg
2012

ST.PETERSBURG STATE POLYTECHNICAL UNIVERSITY JOURNAL

EDITORIAL COUNCIL

Y.S. Vasiliev – full member of the Russian Academy of Sciences, President of the St.Petersburg State Polytechnical University, editor-in-chief; *Zh.I. Alferov* – full member of the Russian Academy of Sciences; *V.V. Kostiuk* – full member of the Russian Academy of Sciences; *V.V. Lopota* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences; *V.V. Okrepilov* – full member of the Russian Academy of Sciences; *B.E. Paton* – full member of the Russian Academy of Sciences and the National Academy of Sciences of Ukraine; *A.I. Rudskoy* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences; *M.P. Fedorov* – full member of the Russian Academy of Sciences; *V.E. Fortov* – full member of the Russian Academy of Sciences.

EDITORIAL BOARD

Y.S. Vasiliev – full member of the Russian Academy of Sciences, President of the St.Petersburg State Polytechnical University, editor-in-chief; *D.G. Arseniev* – Dr.Sc.(tech.), prof.; *A.V. Babkin* – Dr.Sc. (econ.), prof., deputy editor-in-chief; *V.N. Boronin* – Dr.Sc.(tech.), prof.; *V.V. Glukhov* – Dr.Sc. (econ.), prof.; *R.V. Degtyareva* – Dr.Sc. (history), prof.; *A.V. Ivanov* – Dr.Sc.(tech.); *V.K. Ivanov* – Dr.Sc.(phys.-math.), prof.; *V.V. Kozlovsky* – Dr.Sc.(phys.-math.), prof.; *A.I. Rudskoy* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, deputy editor-in-chief; *R.M. Yusupov* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences.

COMPUTER SCIENCE. TELECOMMUNICATIONS AND CONTROL SYSTEMS

EDITORIAL COUNCIL

R.M. Yusupov – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, head of the editorial council; *S.M. Abramov* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences; *V.V. Voevodin* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences; *V.S. Zaborovsky* – Dr.Sc.(tech.), prof.; *V.N. Kozlov* – Dr.Sc.(tech.), prof.; *A.E. Fotiadi* – Dr.Sc.(phys.-math.), prof.; *I.G. Chernorutsky* – Dr.Sc.(tech.), prof.

EDITORIAL BOARD

R.M. Yusupov – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, head of the editorial board;
D.G. Arseniev – Dr.Sc.(tech.), prof., deputy head of the editorial board;
A.V. Babkin – Dr.Sc. (econ.), prof., deputy head of the editorial board;
V.I. Antonov – Dr.Sc.(tech.), prof.;
Y.A. Gollandtsev – Dr.Sc.(tech.), prof.;
Y.G. Karpov – Dr.Sc.(tech.), prof.;
A.S. Korotkov – Dr.Sc.(tech.), prof.;
S.B. Makarov – Dr.Sc.(tech.), prof.;
S.M. Ustinov – Dr.Sc.(tech.), prof.;
I.A. Tsikin – Dr.Sc.(tech.), prof.;
V.P. Shkodyrev – Dr.Sc.(tech.), prof.;
V.Ye. Klavdiev – Candidate of Technical Sciences, associate prof.

The journal is published under scientific and methodical guidance of the Russian Academy of Sciences since 1995.

The journal is included in the List of Leading Peer-Reviewed Scientific Journals and other editions to publish major findings of PhD theses for the research degrees of Doctor of Sciences and Candidate of Sciences.

The publications are presented in the VINITI RAS Abstract Journal and Ulrich's Periodical Directory International Database.

The journal is registered with the State Printing Committee. Certificate № 013165 issued December 23, 1994.

Subscription index **18390** in the "Journals and Magazines" catalogue, Rospechat agency.

The journal is on the Russian Science Citation Index (RSCI) database

© Scientific Electronic Library (<http://elibrary.ru/>).

No part of this publication may be reproduced without clear reference to the source.

The views of the authors can contradict the views of the Editorial Board.

The address: 195251 Polytekhnicheskaya Str. 29, St.Petersburg, Russia.

Содержание

Инфокоммуникационные технологии

Блеканов И.С., Сергеев С.Л., Мартыненко И.А. Построение тематико-ориентированных веб-краулеров с использованием обобщенного ядра.....	9
Торган Ю.Н., Зубрилина Т.В. Использование нереляционного подхода в распределенной системе баз данных	15

Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

Мошкин А.А., Сиверс М.А. Методы локализации мобильных терминалов в беспроводных инфокоммуникационных сетях	21
Садовников В.Ю. Оптимизация доступа к FMC-услугам на основе критерия равномерной балансировки нагрузки между сетями доступа при миграции абонента	27

Проблемы передачи и обработки информации

Кутергин А.О. Использование неокогнитрона в решении задачи распознавания действий объекта на видеопотоке	33
Тюрин С.Ф., Греков А.В., Коржев В.С. Скользящее резервирование с восстановлением на основе элементов с избыточным базисом	38

Радиотехника, антенны, СВЧ-устройства

Сухов И.А., Акимов В.П. Применение алгоритма MUSIC в пеленгаторах с кольцевыми антенными решетками из направленных элементов	45
Коротков А.С., Румянцев И.А. Функциональные модели усилителя мощности с «эффектом памяти»	50

Системный анализ и управление

Волкова В.Н., Микеладзе Б.Д. Модели для разработки системы управления инновационным проектом многофункционального комплекса.....	55
Ягудин Р.Р. Решение задачи оптимизации упаковки многогранников в параллелепипедную область на основе построения годографа вектор-функции плотного размещения.....	58

Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

Дмитриев К.С. Модель интеграции неоднородных данных	63
Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Валитов Р.Р. Динамический алгоритм регулирования доходов населения путем корректировки социальных трансфертов.....	67
Гвоздев В.Е., Абдрафиков М.А. Оценивание граничных значений характеристик надежности радиоэлектронных функциональных узлов систем коммутации по данным подконтрольной эксплуатации	71

Шейнман И.Я., Шабров Н.Н., Киев В.А., Снегирёв А.Ю., Цой А.С. Масштабируемость открытого программного обеспечения для полевого моделирования пожаров	77
Спасский Я.Б. Актуальные задачи автоматизации проектирования распределенных человеко-машинных систем на примере портовых терминалов	85
Голландцев Ю.А., Иванов В.Г., Турусов С.Н. Обращенные вентильные двигатели с высококоэрцитивными постоянными магнитами	88
Кузнецов М.П., Стрижов В.В., Медведникова М.М. Алгоритм многоклассовой классификации объектов, описанных в ранговых шкалах	92
Филиппов Т.К. Применение вейвлет-преобразования информации при техническом анализе экономических данных	95
Ю.И. Лыпарь, И.А. Кацко Модель машины вывода знаний на примере аналоговых электронных устройств	99
Управление в социальных и экономических системах	
Ехлаков Ю.П., Сенченко П.В., Лазарев И.В. Организация документооборота электронного генерального плана промышленного предприятия.....	103
Агиевич В.А., Гимранов Р.Д., Таратухин В.В. Проблема адекватности моделей корпоративной архитектуры и подход к ее решению.....	107
<i>Сведения об авторах</i>	117
<i>Аннотации</i>	121

Contents

Infocommunication technologies

Blekanov I.S., Sergeev S.L., Martynenko I.A. <i>The construction of the focused web-crawler using the universal kernel</i>	9
Torgan Yu.N., Zubrilina T.V. <i>Using NoSQL approach of distributed database system</i>	15

Telecommunication systems and computer networks

Moshkin A.A., Sivers M.A. <i>Methods of mobile terminal locating in wireless info communication networks</i>	21
Sadovnikov V.Yu. <i>Optimizing access to FMC services considering to criteria of uniform distribution of traffic load between access networks and subscriber migration</i>	27

Information transfer and processing

Kutergin A.O. <i>Neocognitron use in solving the problem recognition of action on video stream</i>	33
Tyurin S.F., Grekov A.V., Korzhev V.S. <i>Moving backup with recovery on the basis of the elements with excess basis</i>	38

Radio engineering, aerials, SHF-devices

Sukhov I.A., Akimov V.P. <i>Music algorithm application to circular direction-finding antenna array of directional antennas</i>	45
Korotkov A.S., Rumyancev I.A. <i>Power amplifier behavioral models with memory</i>	50

System analysis and control

Volkova V.N., Mikeladze B.D. <i>Models for the development of management designing innovation multifunctional complex</i>	55
Yagudin R.R. <i>Solving the optimization problem of packing of the polyhedrons into a parallelepiped area based on the no-fit polyhedron construction</i>	58

Mathematical modelling: methods, algorithms, technologies

Dmitriev K.S. <i>A model for heterogeneous data integration</i>	63
Ilyasov B.G., Degtyareva I.V., Makarova E.A., Valitov R.R. <i>Population income regulation and analysis of their influence on the dynamics of aggregate expenditure with dynamic simulation</i>	67
Gvozdev V.E., Abdrafikov M.A. <i>The estimation of reliability characteristics boundary values of radio electronic switching systems functional units of this service-controlled</i>	71
Sheinman I.Ya., Shabrov N.N., Kiev V.A., Snegirev A.Yu., Tsoy A.S. <i>Scalability of the open source software for cfd fire modeling</i>	77
Spassky Ya.B. <i>Essential problems of automation for technological designof complicated distributed man-machine systems – evidence from port terminals</i>	85

Gollandzev Yu.A., Ivanov V.G., Turusov S.N. <i>Inverted alternating-current converted-fed motor with high-coercive permanent magnet</i>	88
Kuznetsov M.P., Strijov V.V., Medvednikova M.M. <i>Multiclass classification of objects with the rank-scaled description</i>	92
Filippov T.K. <i>Application of wavelet-transformation of information in technical analysis of economic data</i>	95
Lypar Yu.I., Katsko I.A. <i>Model car display knowledge example of analog electronic devices</i>	99

Management in social and economic systems

Ehlaikov Yu.P., Senchenko P.V., Lazarev I.V. <i>Docflow of management electronic master plan for industrial enterprises</i>	103
Agievich V.A., Gimranov R.D., Taratukhin V.V. <i>The problem of enterprise architecture models adequacy and an approach to solving it</i>	107
<i>About the authors</i>	117
<i>Abstracts</i>	121

УДК 025.4.03, 004.273

И.С. Блеканов, С.Л. Сергеев., И.А. Мартыненко

ПОСТРОЕНИЕ ТЕМАТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЕБ-КРАУЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОГО ЯДРА

За последние несколько лет в области информационного веб-поиска все чаще проводятся исследования [3–5], связанные с развивающимся научным направлением вебометрика (webometrics) [4]. В частности, методами вебометрики исследуются такие вопросы, как оценка присутствия информационных веб-ресурсов в Вебе, ранжирование веб-сайтов университетов и научных учреждений [3, 5] или повышение вебометрического рейтинга, введенного испанской группой Cybermetrics Lab (<http://www.webometrics.info>), различных университетов мира.

К актуальным направлениям вебометрики относятся исследования по анализу и выявлению гиперссылочных структур различных сегментов веб-пространства (например, академический сегмент Веба, корпоративный и др.). Для получения больших объемов информации о гиперссылках используются веб-краулеры. Общей задачей таких инструментов является специализированный обход Веба с целью сбора информации или определения гиперссылочной структуры и полезности каких-либо информационных ресурсов [1, 2]. Имеющиеся в настоящее время веб-краулеры можно разделить на две группы: универсальные и специализированные (тематико-ориентированные). Универсальные обычно избыточны, сильно нагружают сетевые ресурсы и проигрывают специализированным по таким показателям, как время обхода веб-пространства, производительность обработки информации, а также возможность направленного поиска информационных источников в рамках определенной метрики значимости. В этом смысле преимущества специализированных систем очевидны, однако их минусом явля-

ются значительные затраты на изготовление – для каждой специализации нужен свой краулер.

Вместе с тем, значительное число функций всех краулеров совпадает [6–8, 10].

В данной статье предлагается модель специализированных веб-краулеров, состоящих из обобщенного ядра и специализированных дополнений. При таком подходе затраты на изготовление специализированного веб-краулера минимизируются. Предлагается архитектура обобщенного ядра поискового робота и ее реализация. Ставится эксперимент, в котором сравнивается качество работы веб-краулеров на основе обобщенного ядра с качеством работы зарубежных аналогов на примере Heritrix, OpenWebSpider и Methanol Web Crawler.

Архитектура обобщенного ядра. Масштабность веб-пространства порождает ряд проблем, влияющих на эффективность работы веб-краулеров любых типов. Анализ известных публикаций [6, 8, 10, 11], в которых затрагиваются проблемы эффективной работы поисковых роботов, показывает, что любой специализированный поисковый робот должен решать следующие основные проблемы:

- построение специализированного алгоритма обхода веб-пространства;

- обновление информационных веб-ресурсов в общей коллекции документов, собранной веб-краулером;

- учет разновидностей форматов веб-ресурсов; организация информационного поиска по скрытому Вебу [11];

- минимизация нагрузки на информационный источник;

- распараллеливание и масштабирование про-

цесса сбора информационных веб-ресурсов;

минимизация нагрузки на каналы связи в веб-пространстве.

Для их решения разработана и реализована архитектура обобщенного ядра (рис. 1), которая может применяться для создания любых типов веб-краулеров. В основе этой архитектуры лежит *краулер-процесс*. По структуре краулер-процесс является классом, содержащим текущую информацию о состоянии поискового робота (текущий список проанализированных гиперссылок, содержимое веб-страниц, кэш адресов веб-страниц, список значимых источников информации), а также набор методов для осуществления поиска и обновления информации в индексе. Данные методы позволяют запускать и останавливать процесс поиска.

Под *процессом поиска* в рамках рассматриваемой архитектуры понимается итеративный процесс, останавливающийся при выполнении заданных условий (например, число пройденных

итераций, количество полученных гиперссылок, сходимость результатов), которые зависят от настроек конфигурации. Каждая итерация данного процесса заключается в последовательном выполнении следующих основных модулей (см. рис. 1).

Многопоточный загрузчик веб-страниц. Данный модуль исполняет роль загрузчика веб-страниц с сервера, на котором они расположены в веб-пространстве. Также он является менеджером безопасности, который контролирует количество потоков, выделяемое для загрузки всех информационных источников в рамках одной итерации, и не обрабатывает веб-ресурсы, время отклика которых превышает заданное. Все параметры менеджера загрузок настраиваемые, по умолчанию число потоков равно 10, а время отклика – 2 с.

Модуль извлечения гиперссылок (URLs extraction), который ищет дочерние элементы из заданного набора веб-страниц. Поиск таких элементов осуществляется путем извлечения всех гиперссылок, находящихся в начальном множе-

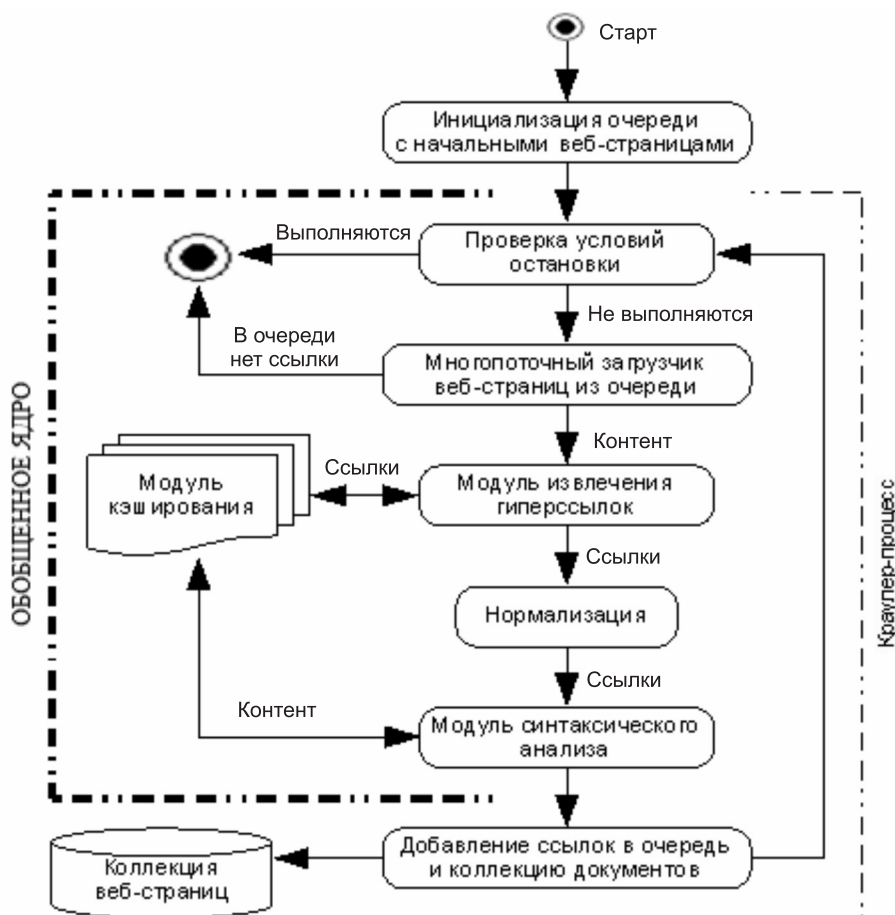


Рис. 1. Архитектура обобщенного ядра



стве веб-страниц, и их добавления в очередь гиперссылок. Процесс обработки элементов очереди выполняется с помощью набора параллельных и синхронизированных между собой потоков, которые независимо извлекают ссылки и добавляют результаты обработки в общую коллекцию полученных дочерних веб-страниц.

Модуль синтаксического анализа веб-страниц (HTML parser) – извлекает текст из загруженных веб-страниц и определяет его кодировку.

Нормализация гиперссылок (URLs normalization). После того как из начального множества веб-страниц извлечены все гиперссылки, необходимо отфильтровать их адреса. За данную операцию в обобщенном ядре отвечает модуль фильтрации адресов для веб-страниц. Основная задача такого модуля заключается в приведении адреса каждого веб-ресурса к стандартизированному виду по заданным критериям [12] (например, имя хоста и протокола каждого ресурса должно состоять из символов нижнего регистра или адреса всех страниц должны приводиться к одинаковой канонической форме, т. е. заканчиваться символом «/»). Другими словами, модуль фильтрации отсеивает веб-страницы с некорректными и дублированными адресами, тем самым улучшая производительность работы поискового робота.

Модуль кэширования. Операция извлечения содержимого веб-страниц затрачивает ресурсы системы (интенсивность затрат ресурсов системы зависит от роста числа веб-страниц), что значительным образом влияет на ее производи-

тельность. Поэтому была разработана система кэширования, предназначенная для ускорения процесса извлечения гиперссылок с веб-страниц за счет повторного использования ранее извлеченного контента. Хранение контента продолжается до тех пор, пока не превышен допустимый порог памяти компьютера, используемой приложением. Данный порог приложение определяет динамически, исходя из имеющегося объема и требований по использованию ресурсов компьютера, а также производительности. При превышении порога система освобождает память путем удаления из кэша контента веб-страниц, которые реже всего используются.

Коллекция найденных документов. Данный модуль хранит информацию обо всех веб-ресурсах и их гиперссылочных структурах, полученных веб-краулером на каждой итерации краулер-процесса, и предоставляет ее пользователю для дальнейших вебометрических исследований.

Данная архитектура обобщенного ядра предоставляет конфигурируемые настройки интеграции и интерфейсы, использование которых существенно упрощает процесс и минимизирует время добавления в архитектуру новых модулей (рис. 2), для создания потенциальных внешних модулей (новые алгоритм обхода, синтаксический и семантический анализаторы и др.).

Описанная реализация поискового робота является базовым инструментом для вебометрических исследований, поэтому на ее основе могут создаваться веб-краулеры со специализированными алгоритмами обхода Веба.

Архитектурные особенности обобщенного ядра. Перед экспериментом в данных исследованиях проводилась оценка архитектурных возможностей обобщенного ядра и зарубежных аналогов веб-краулеров (Heritrix, OpenWebSpider, Methanol Web Crawler) по наличию следующей функциональности (табл. 1):

- возможности многопоточной загрузки веб-страниц;

- масштабирования процесса сбора веб-страниц (на программно-аппаратном уровне);

- минимизации нагрузки на информационные веб-ресурсы;

- минимизации нагрузки на каналы связи;

- гибкости архитектуры (возможности добавлять новые модули, алгоритмы обхода);

- возможности специализированного обновления информационных веб-ресурсов в индексе;

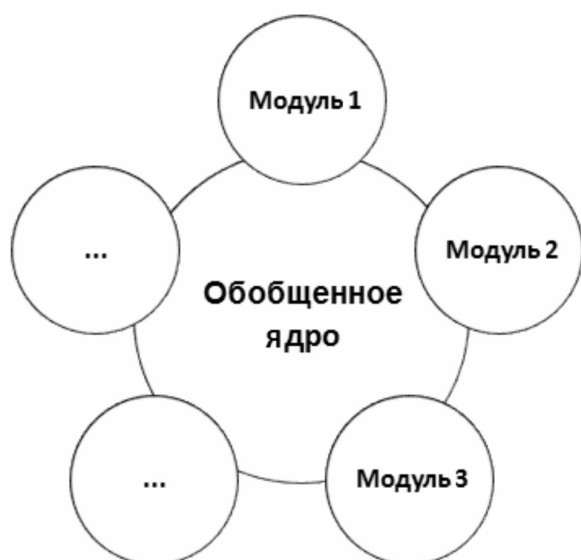


Рис. 2. Связь обобщенного ядра с внешними модулями

Таблица 1

Сравнение особенностей архитектуры веб-краулеров

Функциональность	Heritrix	OpenWeb Spider	Methanol Web Crawler	Обобщенное ядро
Многопоточная загрузка	+	+	+	+
Масштабирование процесса сбора веб-ресурсов	–	–	–	+
Минимизация нагрузки на веб-ресурсы	+	+	+	+
Минимизация нагрузки на каналы связи	+	–	–	+
Гибкость архитектуры	–	–	–	+
Обновление индекса	–	–	–	+
Учет разновидностей форматов веб-ресурсов	+	+	+	+
Обработка текста веб-страниц	–	–	–	+
Адаптированность к российскому Вебу	–	–	–	+
Адаптированность к английскому Вебу	+	+	+	+

учета разновидностей форматов веб-ресурсов; обработки текста веб-страниц; приспособленности к российскому сегменту Веба; приспособленности к англоязычному сегменту Веба.

Оценка архитектурных возможностей показала, что обобщенное ядро и Heritrix имеют гибкие настройки (например, объем скачиваемой информации с одного источника, время доступа к серверу веб-ресурса, количество итераций краулер-процесса и др.), которые при получении и обработке информационных веб-ресурсов легко позволяют контролировать нагрузку на ресурсы и каналы связи (см. табл. 1); веб-краулеры OpenWebSpider и Methanol Web Crawler плохо настраиваются (OpenWebSpider конфигурируется в течение 34 мин, а Methanol Web Crawler – 30 мин (табл. 2, 3)) и при обработке информации источников максимально нагружают каналы связи и используют ресурсы обрабатываемого источника. Вместе с этим зарубежные аналоги плохо адаптированы к российскому Вебу, что подтверждается далее в эксперименте.

Эксперимент. В эксперименте ставилась задача сравнения эффективности работы четырех реализаций веб-краулеров:

- веб-краулер на основе обобщенного ядра с тремя дополнительными модулями – Module_BDD, Module_MDD и Module_SDD, ориентированные на загрузку большого количества веб-страниц, среднего и малого, соответственно;

- Heritrix (<http://crawler.archive.org>) [9], имеющий хорошую производительность при обработке большого количества веб-страниц;

- Methanol Web Crawler (<http://metha-sys.org>), имеющий хорошую производительность при обработке малого количества веб-страниц;

- Open WebSpider (<http://www.openwebspider.org>), имеющий хорошую производительность при обработке небольшого количества веб-страниц.

Сравнивалась производительность работы и время конфигурирования веб-краулеров на основе обобщенного ядра с зарубежными аналогами на примере загрузки 2000, 300 000 и 500 000 веб-страниц.

Производительность поисковых роботов проверялась в российском и англоязычном сегментах Веба при одинаковом тестовом наборе данных (ЭВМ, ОС, начальное множество ссылок в очереди и др.). В качестве начальных параметров были заданы начальное множество веб-страниц для каждого из сегмента (по 10 веб-страниц), и частота запуска, равная 10.

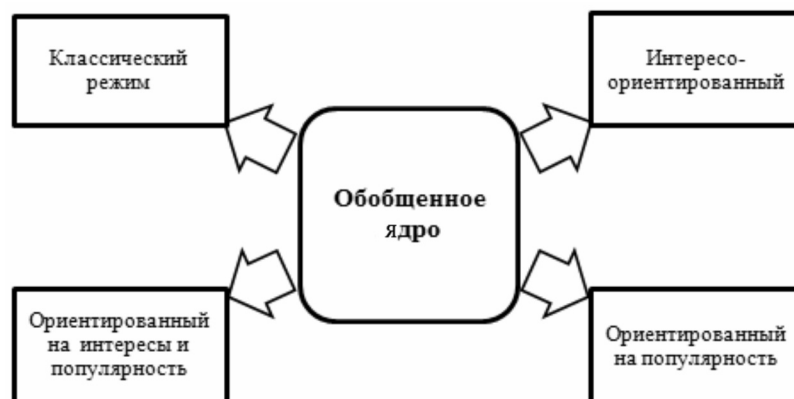


Рис. 3. Режимы поиска веб-краулера с обобщенным ядром

Результаты эксперимента. В ходе сравнительного анализа производительности веб-краулера на основе обобщенного ядра (с подключенными дополнительными модулями Module_BDD, Module_MDD и Module_SDD) с зарубежными аналогами (Heritrix, OpenWebSpider, Methanol Web Crawler) получены следующие результаты (см. табл. 2, 3).

• Небольшое время добавления внешних модулей (алгоритмы обхода веб-пространства, синтаксические анализаторы, методы обновления индекса и др.) к обобщенному ядру и их конфигурирования (см. табл. 1, 2) по сравнению с зарубежными аналогами, архитектура которых не

предусматривает возможность масштабирования и добавления в нее других модулей, и время настройки в среднем занимает 28 мин.

• Веб-краулер с обобщенным ядром имеет возможность добавления в него специализированных модулей и их адаптации для тематического поиска (рис. 3): классический (рекурсивно обходит все встречающиеся гиперссылки); интересо-ориентированный; ориентированный на популярность; ориентированный на интересы и популярность. В исследованиях [1, 2] проверялось качество поиска и полезность этих модулей, а также их интеграция с обобщенным ядром. В то время как Heritrix, OpenWebSpider и Methanol

Таблица 2

Средняя производительность обработки информации веб-краулерами в англоязычном сегменте веб-пространства и время их настройки

Веб-краулеры	Время загрузки 2000 страниц (мин)	Время загрузки 300 000 страниц (мин)	Время загрузки 500 000 страниц (мин)	Время настройки веб-краулера (мин)
Heritrix	1,9	8,0	11,2	20,0
OpenWebSpider	3,0	8,4	13,0	34,0
Methanol	1,9	8,6	14,1	30,0
Обобщенное ядро с Module_BDD модулем	—	—	9,1	4,0
Обобщенное ядро с Module_MDD модулем	—	6,0	—	4,0
Обобщенное ядро с Module_SDD модулем	1,7	—	—	4,0
Обобщенное ядро с модулем анализа текста и ссылок	2,0	8,5	11,5	4,0

Таблица 3

**Средняя производительность обработки информации веб-краулерами
в российском сегменте веб-пространства и время их настройки**

Веб-краулеры	Время загрузки 2000 страниц (мин)	Время загрузки 300 000 страниц (мин)	Время загрузки 500 000 страниц (мин)	Время настройки веб-краулера (мин)
Heritrix	5,0	12,9	22,3	20,0
OpenWebSpider	5,5	13,0	25,0	34,0
Methanol	4,2	13,5	26,5	30,0
Обобщенное ядро с Module_SDD модулем	—	—	10,5	4,0
Обобщенное ядро с Module_MDD модулем	—	6,4	—	4,0
Обобщенное ядро с Module_SDD модулем	2,0	—	—	4,0
Обобщенное ядро с модулем анализа текста и ссылок	3,5	9,0	13,0	4,0

Web Crawler используют только классический режим обхода веб-пространства и не обрабатывают текст источников информации в Вебе, но поддерживают возможность поиска музыкальных, видеофайлов, файлов PDF.

- Веб-краулеры на основе обобщенного ядра с разными модулями загрузки веб-страниц (Module_BDD, Module_MDD и Module_SDD) в классическом режиме (обрабатывая информацию только о ссылках) показали высокую производительность среди зарубежных аналогов (табл. 2, 3) как в российском, так и в зарубежном сегменте Веба. Вместе с тем поисковый робот на основе обобщенного ядра с модулем анализа текста не уступает по производительности зарубежным аналогам, не обрабатывающим текстовую информацию веб-страниц, в англоязычном сегменте Веба, а в российском Вебе зарубежные реализации веб-краулеров сильно уступают в производительности.

- Зарубежные аналоги показали низкую производительность обработки информационных веб-ресурсов в российском сегменте Веба (табл. 2), а 70 % ресурсов из этого сегмента веб-краулеры Heritrix, OpenWebSpider и Methanol Web Crawler

не смогли загрузить и обработать. Данный факт объясняется низкой приспособленностью зарубежных аналогов к российскому Вебу.

- Среди зарубежных аналогов неплохую эффективность загрузки и обработки 2000, 300 000 и 500 000 веб-страниц показал веб-краулер Heritrix. Его можно использовать как инструмент для поиска (с классическим алгоритмом обхода Веба) разнородной информации и добавления ее в индекс.

Таким образом, из поставленного эксперимента следует, что веб-краулер с обобщенным ядром эффективней собирает и обрабатывает информацию с веб-ресурсов, чем зарубежные аналоги, которые сильно уступают по производительности, гибкости и масштабируемости архитектуры, а также по приспособленности к обработке информации в российском сегменте Веба.

В дальнейшем созданный веб-краулер с обобщенным ядром планируется использовать в прикладных исследованиях по повышению вебметрических рейтингов университетов, научных институтов и других научных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блеканов, И.С. Оценка эффективности методов поиска тематических сообществ в веб-пространстве [Текст]

/ И.С. Блеканов, Д.С. Бондаренко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –2010. –№ 5 (108). –С. 18–24.



2. **Блеканов, И.С.** Тематический краулинг на основе алгоритма HITS [Текст] / И.С. Блеканов, Д.С. Бондаренко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –2010. –№ 3 (101). –С. 111–118.
3. **Печников, А.А.** Вебметрические исследования Web-сайтов университетов России [Текст] / А.А. Печников // Информационные технологии. –2008. –№ 11. –С. 74–78.
4. **Печников, А.А.** Разработка инструментов для вебметрических исследований гиперссылок научных сайтов [Текст] / А.А. Печников, Н.Б. Луговая, Ю.В. Чуйко, И.Э. Косинец // Вычислительные технологии. –2009. –Т. 14. –№ 5. –С. 66–78.
5. **Печников, А.А.** Исследование связности научно-образовательного Веба [Текст] / А.А. Печников, А.В. Чирков, Ю.В. Чуйко // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Естественные и технические науки. –2011. –№ 8 (121). –С. 111–113.
6. **Arasu, A.** Searching the web [Text] / A. Arasu, J. Cho, H. Garcia-Molina [et al.] // ACM Transactions on Internet Technology. –Aug. 2001. –Vol. 1. –№ 1. –P. 2–43.
7. **Bar-Ilan, J.** How much information the search engines disclose on links to a web page? A case study of the «Cybermetrics» home page [Text] / J. Bar-Ilan // Proc. VIII Intern. Conf. on Scientometrics and Informetrics. –2001. –Vol. 1. –P. 63–73.
8. **Cho, J.** The evolution of the web and implications for an incremental crawler [Text] / J. Cho, H. Garcia-Molina // In Proc. of the XXVI Intern. Conf. on Very Large Databases. –CA, USA. –2000. –P. 200–209.
9. **Mohr, G.** Introduction to Heritrix: an open source archival quality web crawler [Text] / G. Mohr, M. Kimpton, M. Stack [et al.] // Proc. of the 4th International Web Archiving Workshop (IWA'04). –Bath, UK. –2005. –P. 15.
10. **Najork, M.** High-Performance Web Crawling [Text] / M. Najork, A. Heydon. –MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002. –P. 25–45.
11. **Raghavan, S.** Crawling the Hidden Web [Text] / S. Raghavan, H. Garcia-Molina. –San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2001. –P. 129–138.
12. **Sang, Ho Lee.** On URL normalization [Text] / Lee Sang Ho, Sung Jin Kim, Seok Hoo Hong // Proc. of the Intern. Conf. on Computational Science and its Applications (ICCSA). –2005. –Vol. 2. –P. 1076–1085.

УДК 681.3

Ю.Н. Торган, Т.В. Зубрилина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ БАЗ ДАННЫХ

Резкое увеличение объемов данных привело к появлению новых тенденций в области систем хранения. Одна из популярных тенденций – использование NoSQL баз данных (БД). Названный термин подразумевает под собой ряд подходов, которые реализуют модели БД, имеющие существенные отличия от используемых в традиционных реляционных СУБД.

Для классических реляционных СУБД проблемой является работа с данными большого объема в проектах с высокой нагрузкой. По этим причинам основными принципами NoSQL стали отказ от реляционной модели для учета специфики обрабатываемых данных, а также горизонтальная масштабируемость до сотен и тысяч серверов для обеспечения необходимой скорости работы.

Однако это выявило проблему нереляционных БД: невозможно одновременно выполнить

требования по согласованности данных, доступности системы и устойчивости к разделению. В то же время для решения проблемы скорости работы системы для реально существующей информационной системы (ИС) полное перенесение БД из реляционной СУБД в нереляционную потребовало бы значительных временных и денежных затрат.

Альтернативным вариантом является написание «нереляционной надстройки» над существующей реляционной СУБД с использованием *методов нереляционного* подхода [2].

Существуют три типовых метода, используемые в нереляционных БД для решения проблемы масштабирования: партиционирование (partitioning), репликация (replication) и шардинг (sharding).

Партиционирование представляет собой раз-

биение больших структур баз данных, таких, как таблицы и индексы, на логические части по некоторым выбранным критериям, позволяющее увеличить скорость выборки данных из этих таблиц. Однако оно уже выполняется средствами большинства известных СУБД.

Репликация представляет собой синхронное (асинхронное) копирование данных с ведущих серверов на ведомые (возможно также на ведущие) сервера. Ведущие сервера называют «master-сервер», ведомые – «slave-сервер». В таких системах запрос на чтение данных можно сделать любому серверу, а запрос на изменение – только мастеру [3].

В случае синхронной репликации все запросы на изменение сразу же дублируются master-сервером на все slave-сервера. При синхронной репликации не придется заботиться о репликационном лаге, однако это отразится на скорости отработки запросов на изменение и вставку данных. В случае асинхронной репликации master-сервер ведет журнал изменений и через определенные промежутки времени рассылает журнал всем slave-серверам для синхронизации данных. В связи с наличием проблем в существующей ИС, связанных с ограничением пропускной способности чтения данных, для реализации надстройки выбрана асинхронная репликация (master-slave).

Шардинг представляет собой разделение данных на уровне ресурсов. В реализации над-

стройки выбран горизонтальный шардинг, т. е. размещение разных данных одной таблицы на нескольких серверах. На сегодняшний день для шардинга не существует решения на уровне известных платформ, т. к. он – специфическая задача для отдельно взятого приложения. Главное преимущество использования данного метода в надстройке – горизонтальный шардинг бесконечно масштабируем [3].

На рис. 1 представлена *общая схема нереляционной надстройки*.

На схеме показано взаимодействие сервера балансировки нагрузки LoadBalancer, мастер- и слэйв-серверов. Запросы на чтение данных отправляются сервером балансировки всем серверам, запросы на изменение данных отправляются только мастер-серверам. Периодически мастер-серверы асинхронно отправляют журнал с изменениями слэйв-серверам для синхронизации данных. Для настройки и масштабирования в системе предусмотрена программа для администратора.

При проектировании системы использовался объектно-ориентированный подход. Диаграммы построены с использованием языка UML в среде Rational Rose. Основными компонентами нереляционной надстройки системы являются:

Load Balancer – серверная программа, взаимодействующая с клиентом, предназначена для распределения нагрузки на серверы;

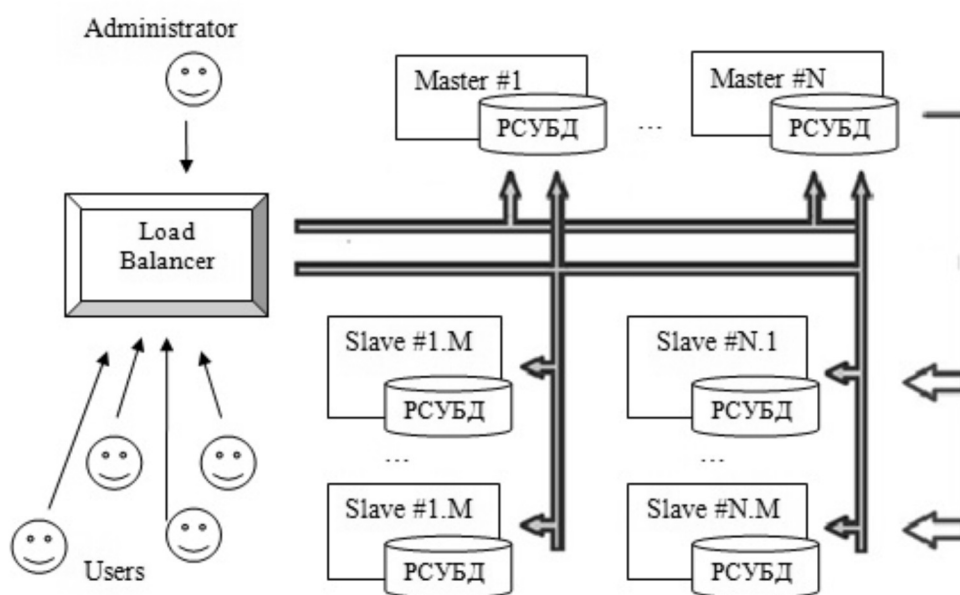


Рис. 1. Общая схема проектируемой системы

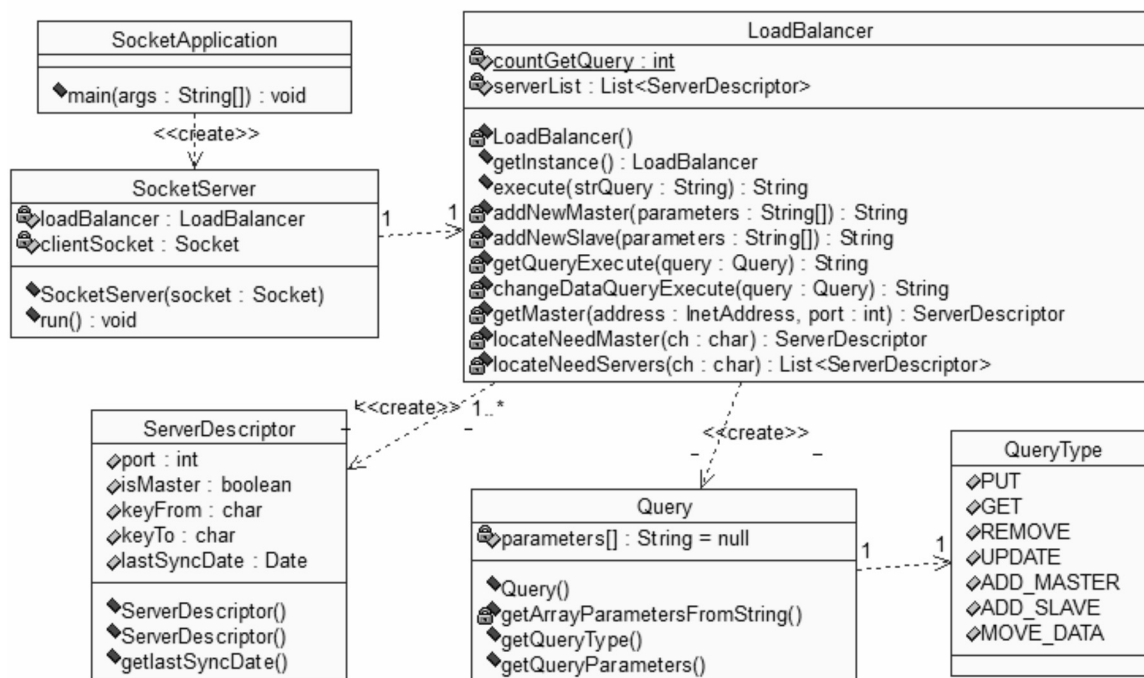


Рис. 2. Диаграмма классов Load Balancer

Server Programm – универсальная серверная программа для master- и slave-сервера, взаимодействующая с балансиром, принимает запросы от балансера, обрабатывает и выполняет их, результаты выполнения запросов отправляет обратно балансир. Содержит компоненты для реализации обработки и выполнения запросов. Для работы с реляционной базой данных в СУБД MS SQL Server используется фреймворк Hibernate;

Lib – пакет утилитных классов, необходимых для работы в сети, например сериализация, десериализация объектов. Утилитные классы уже в скомпилированном виде могут поставляться со всеми перечисленными программами в виде jar-архива.

Для каждой компоненты нереляционной надстройки построена диаграмма классов, предназначенная для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования (рис. 2).

Load Balancer предназначен для управления нагрузкой на серверы в системе. Он определяет, к какому серверу отправлять запрос на чтение – решает, считывать с master-сервера или slave-сервера; и к какому на запись – локализует master-сервер с необходимыми данными. Класс

Load Balancer (рис. 2) реализует основную логику работы – обработку запросов клиентов или администраторов системы: определение типа запроса, локализацию сервера по необходимому ключу в запросе, транспортировку запроса, обработку ответов от серверов и транспортировку результатов клиенту или администратору.

Так как *Load Balancer* представляет собой консольную программу, работающую со всеми компонентами в системе по TCP/IP, предусмотрены классы *SocketServer*, отвечающий только за работу с клиентом или администратором (общение с серверами хранения данных происходит в основном классе *LoadBalancer*), и *SocketApplication*, запускающий работу сервера. Благодаря реализованной схеме классы, отвечающие за работу с клиентами и администраторами по TCP/IP, могут быть заменены на HTTP-сервер, в результате чего балансир сможет принимать запросы по протоколу HTTP.

Сервер хранения данных в проектируемой системе представляет собой универсальную программу как для master-сервера, так и для slave-сервера, поэтому сервер при запуске не знает, какую роль он будет исполнять.

Функциональность сервера описывают три интерфейса:

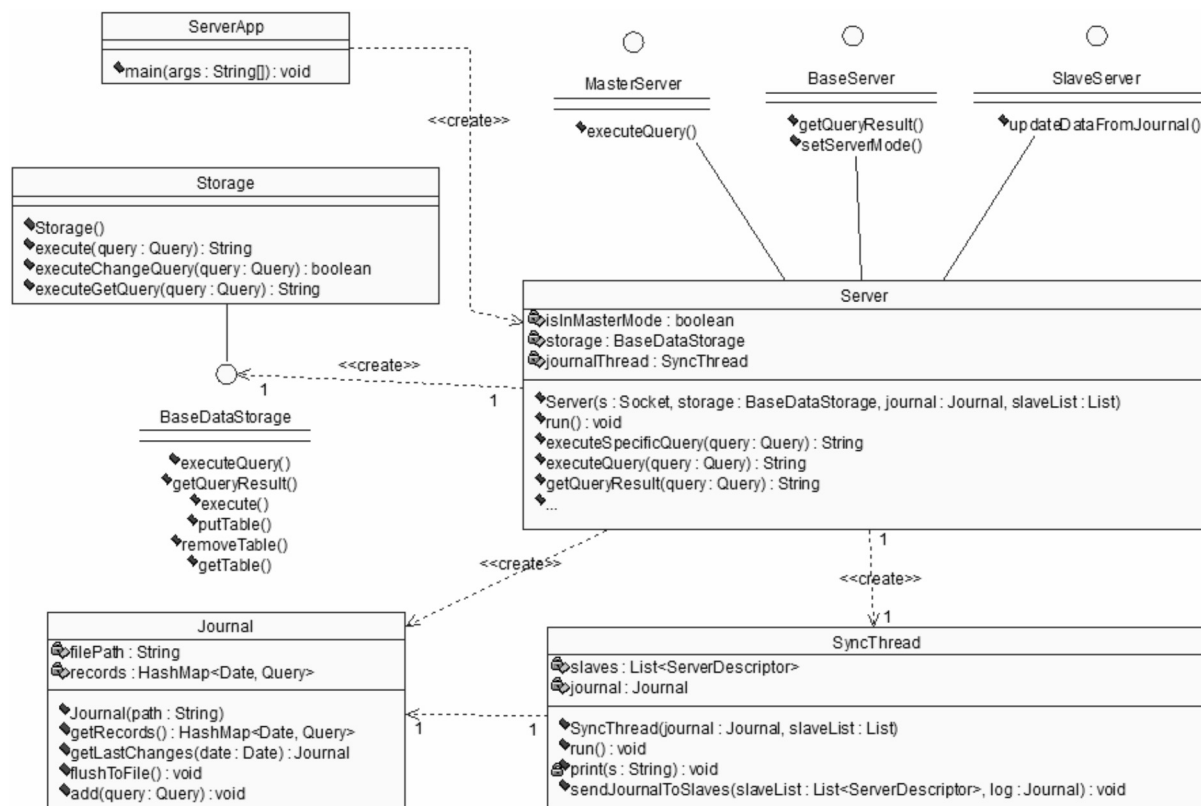


Рис. 3. Диаграмма классов Server

• BaseServer – интерфейс, определяющий общий функционал для master- и slave-серверов. К нему относятся установка типа сервера setServerMode() и общий метод для мастера и слэйва – getQueryResult(), т. к. запрос на чтение данных в системе может осуществляться как с master-сервера, так и со slave-сервера;

• MasterServer – интерфейс, описывающий функциональность master-сервера по выполнению запросов на изменение данных executeQuery();

• SlaveServer – интерфейс, описывающий функциональность slave-сервера, – возможность обновления данных после получение журнала изменений.

В системе предусмотрен один универсальный класс Server (рис. 3), реализующий все три интерфейса, это сделано в связи с тем, что master-сервер может прямо в процессе работы переключиться и стать slave-сервером, аналогичная ситуация для slave-сервера.

Journal – класс, осуществляющий запись запросов на изменение данных с указанием времени поступления запроса в файл, загрузку логов в оперативную память, получение времени послед-

ней рассылки журнала slave-серверам. Данная функциональность используется только master-сервером. SyncThread реализует асинхронную отправку журнала списку slave-подписчиков.

BaseDataStorage – интерфейс, описывающий функциональность работы любого хранилища. Выделен специально в случае если хранилище необходимо будет изменить, допустим, с реляционной СУБД на другой формат хранения данных, например, xml-формат. Storage – класс, реализующий интерфейс BaseDataStorage для реляционной СУБД.

Система реализована средствами языка Java. Для реализации работы с реляционной СУБД использовался фреймворк Hibernate.

Для начала работы с системой необходимо запустить сервер, после запуска на консоль сервер выведет свой адрес IP и порт. Следующим шагом является запуск работы сервера балансировки нагрузки (его IP адрес и порт прописаны в программе).

Далее необходимо запустить программу для администрирования работы системы. На консоль выведется инструкция по типам команд и передаваемым параметрам.

```

"C:\Program ...
=Administrator process=
For working with data you can use next comm
<all information about new applicant>, ex
For administration you can use next command
Chosen balancer:localhost/127.0.0.1:1234
add master 127.0.0.1 41391 A Z
Ok
put Torgan 13.07.1989
OK
put Zorro 01.01.2001
OK
add slave 127.0.0.1 41402 127.0.0.1 41391
Ok
get Torgan
Torgan 13.07.1989
get Zorro
Zorro 01.01.2001

"C:\Program ...
=Load Balancer=
got request: ADD_MASTER
result -> Ok
got request: PUT
result -> OK
got request: PUT
result -> OK
got request: ADD_SLAVE
Slave was successfully added
result -> Ok
got request: GET
get query goes to: /127.0.0.1 41391
result -> Torgan 13.07.1989
got request: GET
get query goes to: /127.0.0.1 41402
result -> Zorro 01.01.2001

"C:\Program ...
_= Server =_
Network address:
127.0.0.1 41391
Got query. Start processing...
query for setting server mode
result -> Ok
Got query. Start processing...
executing PUT query
query for changing data: PUT
result -> OK
Got query. Start processing...
executing PUT query
query for changing data: PUT
result -> OK
Got query. Start processing...
adding new slave...
result -> Ok
Got query. Start processing...
get query result of GET query
query GET
result -> Torgan 13.07.1989

"C:\Program ...
_= Server =_
Network address:
127.0.0.1 41402
Got query. Start processing...
query for setting server mode
result -> Ok
Got query. Start processing...
JOURNAL UPDATE
result ->
Got query. Start processing...
get query result of GET query
query GET
result -> Zorro 01.01.2001
Got query. Start processing...
JOURNAL UPDATE
result ->
Got query. Start processing...
JOURNAL UPDATE
result ->
Got query. Start processing...
JOURNAL UPDATE
result ->

```

Рис. 4. Пример работы реализованной системы

При добавлении первого master-сервера системный администратор использует команду `add master`. В качестве параметров кроме адреса сервера указывается полный диапазон ключей. В дальнейшем при добавлении нового master-сервера администратору следует указать только один ключ «keyFrom» – нижнюю границу для добавляемого master-сервера. Balancer по заданным параметрам распределит данные между серверами: укажет master'1 передать необходимые данные на новый master'2. Таким образом, добавление

новых серверов не требует ручной работы по перемещению данных, новые серверы сами конфигурируют свою работу в соответствии с командами администратора. Пример работы системы представлен на рис. 4.

Предложенная нереляционная надстройка позволит обеспечить хорошую горизонтальную масштабируемость, повышение производительности, надежности и отказоустойчивости существующей ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NOSQL Patters [Электронный ресурс] // Pragmatic Programming Techniques // Режим доступа: <http://horicky.blogspot.com/2009/11/nosql-patterns.html> (Дата обращения Nov. 2009)

2. NoSQL – подходы к решению типичных задач [Электронный ресурс] // Highload Web // Режим досту-

па: <http://highload.com.ua/index.php/2010/06/03> (Дата обращения June 2010)

3. Шардинг, партиционирование, репликация - зачем и когда? [Электронный ресурс] // Highload Web // Режим доступа: <http://highload.com.ua/index.php/2009/05/06> (Дата обращения May 2009)

МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

В статье описываются некоторые результаты исследований методов локализации (позиционирования) мобильных терминалов МТ в беспроводных телекоммуникационных сетях (БИТС).

Наибольшее применение получили БИТС, основанные на следующих стандартах, принятых мировым сообществом:

- персональных сетей IEEE 802.15;
- локальных сетей IEEE 802.11;
- региональных сетей IEEE 802.16;
- глобальных сетей сотовой связи:

2G поколения – GSM (Global System for Mobile Communications);

3G поколения – UMTS (Universal Mobile Telecommunications System);

4G поколения – LTE (Long Term Evolution).

Среди возможных методов локализации наиболее интересными представляются методы, основанные только на использовании аппаратных и информационных ресурсов БИТС.

Прежде всего следует отметить, что авторы широко известных работ [1, 2, 4] по локализации (позиционированию) МТ в указанных сетях часто используют названия методов (способов), игнорируя установившиеся в классической литературе по радиолокации, радиопеленгации и радионавигации термины; при этом создается впечатление, что предлагаются какие-то новые методы локализации МТ.

Методическая задача статьи состоит в возвра-

те к традиционным названиям методов локализации МТ в БИТС.

Материалы статьи содержат также информацию о двух новых методах локализации и некоторые результаты их экспериментальных исследований в сетях сотовой связи стандарта GSM.

Локализация МТ в БИТС основывается на поэтапном выполнении нескольких измерительно-вычислительных операций (рис. 1).

На первом этапе МТ и оборудование БИТС измеряют параметры сигналов, используемых при обмене сообщениями. Видов измеряемых параметров электромагнитных сигналов немного:

время прохождения сигнала от передатчика до приемника;

направление (азимут) распространения сигнала в пространстве;

мощность принимаемого сигнала.

На втором этапе по полученным результатам измерений вычисляются геометрические данные, необходимые для решения уравнений локализации:

расстояние между передающим и приемным устройствами;

углы направлений (пеленгов) на приемник от передатчика.

На третьем этапе определяются координаты МТ на основе решения уравнений локализации, свойственных выбранному методу. Местоположение МТ определяется относительно базовых

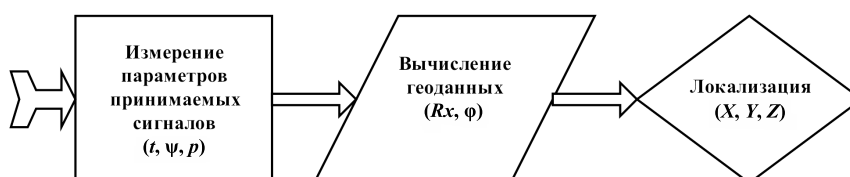


Рис. 1. Этапы решения задачи локализации

Таблица 1

Инвариантные методы локализации

Число базовых точек	Метод локализации	Измеряемые параметры сигнала	Вычисляемые геометрические величины	Инвариантные параметры сигнала
1	Локационный	Время распространения сигналов	Расстояние	Мощность принимаемого сигнала
		Азимут	Пеленг	
2	Пеленгационный	Азимут	Пеленг	Мощность принимаемого сигнала и время распространения
3	Дальномерный	Время распространения сигналов	Расстояние	Мощность принимаемого сигнала и азимут
	Гиперболический	Время распространения сигналов	Разность расстояний	Мощность принимаемого сигнала и азимут

точек (базовых станций, точек доступа), координаты которых должны быть известны с достаточной точностью.

Точность локализации определяется отклонением рассчитанных координат МТ от их истинных значений. Точность обусловлена прежде всего погрешностями измерений параметров принимаемых сигналов, зависящих от условий распространения электромагнитных волн и инструментальной точности аппаратных средств.

При дальнейшем рассмотрении методов локализации удобно использовать понятие *инвариантность* – отсутствие влияния на точность локализации некоторых параметров принимаемого сигнала, например мощности (в пределах чувствительности приемных устройств).

В табл. 1 приведены известные методы локализации МТ в БИТС, обладающие инвариантностью к мощности принимаемых МТ сигналов.

Среди известных инвариантных методов локализации МТ в БИТС [2] существуют такие, которые инвариантны ко всем обозначенным параметрам принимаемых сигналов. Один из таких методов, в котором местоположение МТ определяется лишь известными координатами обслуживающей базовой станции (БС), получил в сетях сотовой связи стандарта GSM название «Cell ID» (Cell Geographic Identification). Точность локализации определяется предельным расстоянием

распространения электромагнитных колебаний между БС и МТ и естественно низкая. Единственный способ повышения точности локализации – увеличение плотности размещения БС, уменьшающее расстояние между ними и МТ.

Аналогом локационного метода МТ в сетях сотовой связи стандарта GSM можно считать метод Cell ID +TA, в котором измерение времени распространения сигналов (TA – Time Advance) между БС и МТ с низкой инструментальной точностью (1,8 мкс), позволяет увеличить точность локализации по сравнению с методом Cell ID. В сотовых сетях UMTS измерение времени распространения сигналов между БС и МТ проводится с более высокой инструментальной точностью (0,27 мкс), что приводит к соответствующему уменьшению погрешности локализации.

Погрешности измерений времени распространения сигнала. На измеренную величину времени распространения сигналов, естественно, влияет скорость прохождения электромагнитных колебаний в среде. Например, локальная скорость электромагнитных волн с частотой ω определяется электрофизическими параметрами среды распространения в данной области пространства:

$$V_{\text{эм}} = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos(\delta)}{1 + \cos(\delta)}}; \quad (1)$$

$$\delta = \arg\left(\frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon}\right),$$

где μ – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; σ – удельная электропроводимость, См/м.

В неоднородных средах (помещения с множеством перегородок) указанные параметры являются пространственно зависимыми и их значения, как правило, неизвестны для реальных условий, в которых работает БИТС.

Погрешности измерений азимута. Измерение азимутов принимаемых (передаваемых) сигналов в радиолокации и радиопеленгации основано на применении антенн с управляемыми диаграммами направленности в пространстве, например фазированных антенных решеток. Инструментальная точность измерения азимута связана со сложностью конструкции антенны. Такие антенны по экономическим соображениям пока не применимы в БИТС.

Азимут может быть измерен не для прямого, а для отраженного сигнала, или сигнала, изменившего направление распространения при преломлении в неоднородной среде распространения. В этом случае возникает погрешность в измерении направления принимаемого (передаваемого) сигнала.

Погрешности измерений уровня мощности. Современные МТ могут выполнять измерения мощности принимаемых сигналов. Например, в сотовых сетях стандарта GSM измеряется уровень мощности принимаемого сигнала RxL (RxLevel – Received Signal Level). В БИТС дру-

гих стандартов приемниками измеряется уровень мощности, называемый RSS (Received Signal Strength). Инструментальная точность измерения уровней мощности, как правило, невысокая 2–6 дБм.

На рис. 2 показано изменение уровня мощности принимаемого МТ сигнала в действующей сети стандарта GSM в сельской местности. Передатчик БС находился на расстоянии 6200 м от МТ; измерения проведены нами.

Средний уровень рассматриваемого сигнала RxL = –73,2 дБм, среднеквадратичное отклонение равно 3,3 дБм.

Уровень мощности принимаемого сигнала следует признать параметром, измеряемым с наибольшими погрешностями. Однако в ряде практических случаев результат его измерения может быть единственным пригодным для локализации МТ.

Погрешности локализации. На втором и третьем этапах локализации случайные погрешности измеренных параметров переходят в ошибки определения местоположения МТ. Существенное влияние на точность локализации оказывает так называемый «геометрический фактор», т. е. взаимное расположение БС и МТ, проявляющий себя на заключительном этапе локализации.

Рисунок 3 иллюстрирует результаты статистического моделирования задачи локализации МТ дальноммерным методом по сигналам двух БС, равноудаленным от МТ при одинаковых погрешностях измерений расстояний (5 %) и двух вариантах геометрического фактора (a и b).

Погрешности определения местоположения

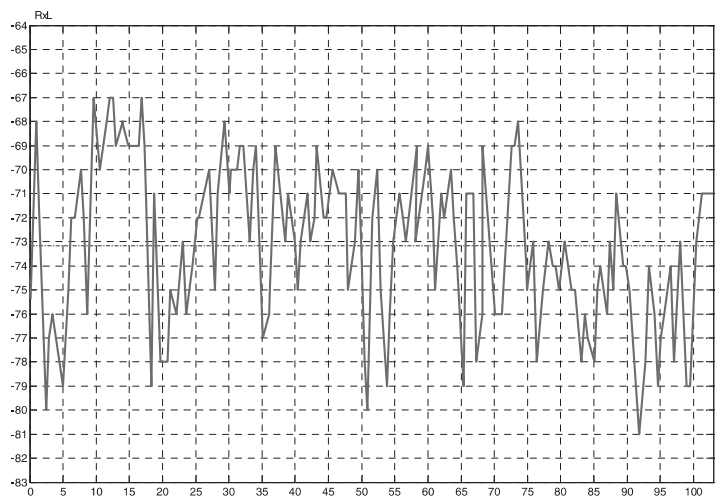


Рис. 2. Изменение уровня мощности принимаемого сигнала

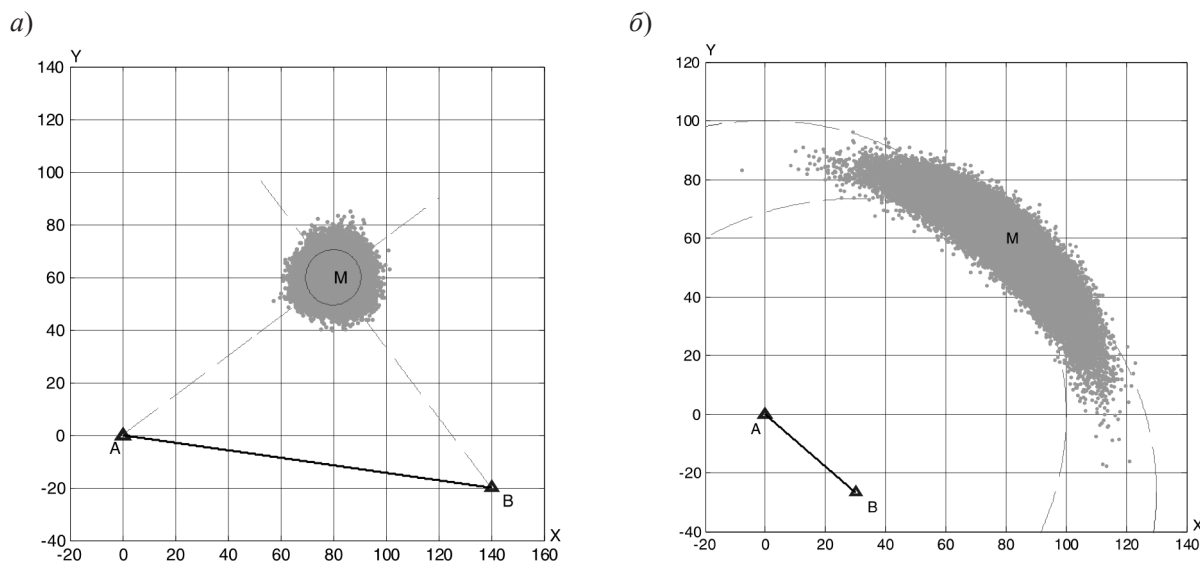


Рис. 3. Влияние геометрического фактора

точки М отличаются в рассматриваемом примере приблизительно в три раза.

Рассмотрим далее новые методы локализации МТ в БИТС, обладающие инвариантностью к мощности принимаемых сигналов с изложением некоторых результатов их экспериментальных исследований.

Относительно-дальномерный метод локализации. Один из новых методов, рассмотренный в [5], получил название *относительно-дальномерного*. Рассмотрим известное энергетическое соотношение [6], связывающее уровни мощности сигналов передающего и приемного устройств:

$$RxL = P_1 + a_0 + a_f + a_H + a_h + a_R \cdot \lg(R) \text{ дБм}, \quad (2)$$

где P_1 – уровень мощности передающего устройства; RxL – уровень мощности принимаемого сигнала; a_f – слагаемое, учитывающее влияние частоты колебания; a_H – слагаемое, учитывающее влияние передающей антенны H ; a_h – слагаемое, учитывающее влияние приемной антенны h ; a_R – множитель в слагаемом, учитывающим влияние расстояния между передающим и приемным устройствами R .

Если в БИТС выбрать две базовые точки А и В с одинаковыми высотами ненаправленных передающих антенн, излучающих колебания с близкими частотами ($a_{Af} = a_{Bf}$) и известными мощностями передающих устройств (P_A ; P_{B1}), то при одинаковых условиях распространения электромагнитного поля и ненаправленной приемной ан-

тенне, получаем соотношение

$$\begin{aligned} dRxL_{BA} &= dRxL_B - dRxL_A = \\ &= P_{2B} - P_{2A} + a_R \cdot [\lg(R_{MB}) - \lg(R_{MA})] \text{ дБм}, \end{aligned} \quad (3)$$

откуда следует выражение

$$qR_{BA} = \frac{R_{MB}}{R_{MA}} = 10^{\frac{dRxL_{BA} - P_{2B} - P_{2A}}{a_R}} \text{ дБм}, \quad (4)$$

связывающее отношение расстояний (R_{MA} и R_{MB}) между МТ, находящимся в неизвестной точке М и БТ, с разностью уровней принимаемых МТ сигналов.

Отношение расстояний позволяет построить окружность Аполлония (рис. 4), одна из точек которой является точкой местонахождения локализуемого МТ.

Другая пара базовых точек А и С позволяет построить вторую окружность Аполлония, которая пересекается с первой окружностью в двух точках, одна из которых является локусом МТ.

Выбор нужного локуса из двух возможных можно провести с привлечением дополнительного условия, определяемого особенностями БИТС, расположением МТ или использованием сигнала еще одной БС.

Метод локализации по отношениям расстояний инвариантен условиями распространения электромагнитных колебаний в однородной среде.

На рис. 5 представлен для иллюстрации один из результатов экспериментальных исследований локализации МТ в действующей сети сотовой связи стандарта GSM оператора «МегаФон».

Локус МТ определяется точкой пересечения:

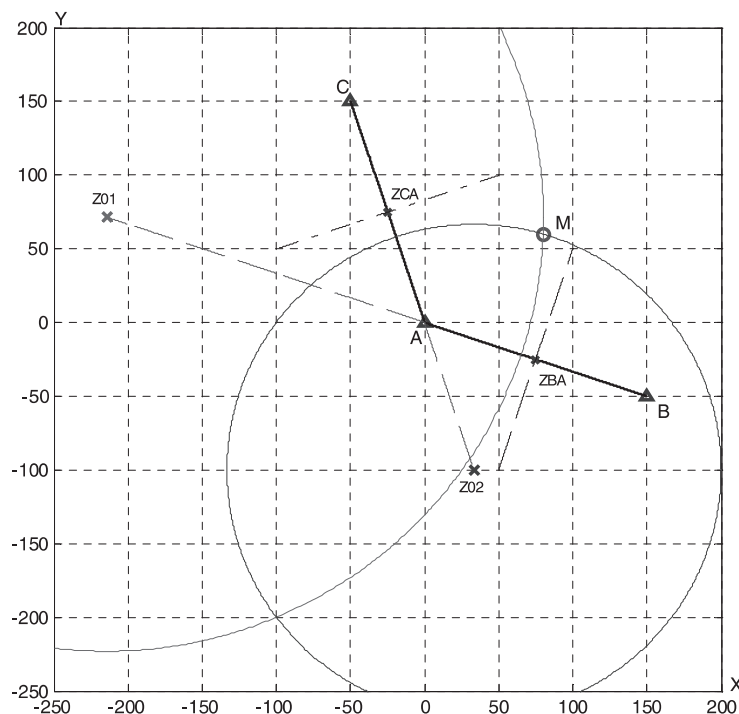


Рис. 4. Локализация по отношениям расстояний

окружности Аполлония, построенной по сигналам двух базовых станций (БС № 1483 и БС № 149), расположенных в районе Мурманского шоссе Ленинградской области;

окружности, соответствующей времени распространения TA , измеренного обслуживающей БС № 1483.

Погрешность локализации в рассмотренном примере составила 270 м или 10 % от расстояния между МТ и БС-149, что практически соответствует погрешности измерения $TA = \pm 275$ м.

Метод локализации по пеленгу. Другой ме-

тод локализации, инвариантный к уровню мощности принимаемого сигнала, основан на определении пеленга от БС на МТ с использованием информации о характеристиках направленности передающих антенн БС.

В сотовых сетях стандарта GSM и UMTS часто возникает ситуация, при которой возможно оценить пеленг на МТ. Такая ситуация появляется, если МТ измеряет уровни мощности двух передатчиков А и В одной БС с близкими несущими частотами. Как правило, мощности передающих устройств равны, передающие антенны одного типа, с известными диаграммами направленности. В этом случае на основе двух энергетических соотношений (2) получаем выражение:

$$dR_x L_{BA} = R_x L_B - R_x L_A = a_{HB} - a_{HA} \text{ дБм.} \quad (5)$$

Разность уровней мощности принимаемых сигналов связана с характеристиками направленности передающих антенн передатчиков А и В одной базовой станции.

На рис. 6 отражены данные эксперимента, когда от одной БС № 1350 (район Мурманского шоссе Ленинградской области) МТ принимает сигналы с рабочими частотами в диапазоне 900 МГц и уровнями мощности $-55,2$ дБм и $-59,7$ дБм от двух передающих устройств, азимуты которых 160° и 90° соответственно.

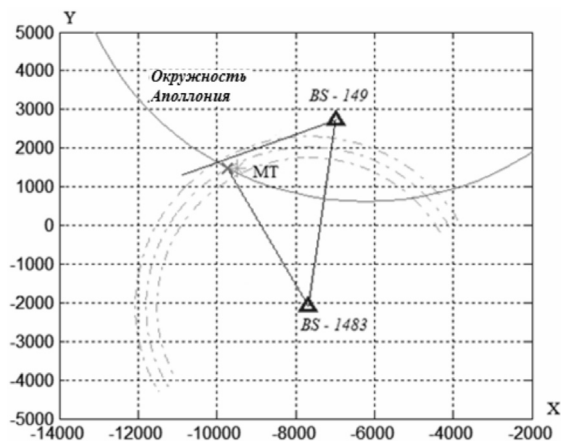


Рис. 5. Локализация по отношениям расстояний и TA

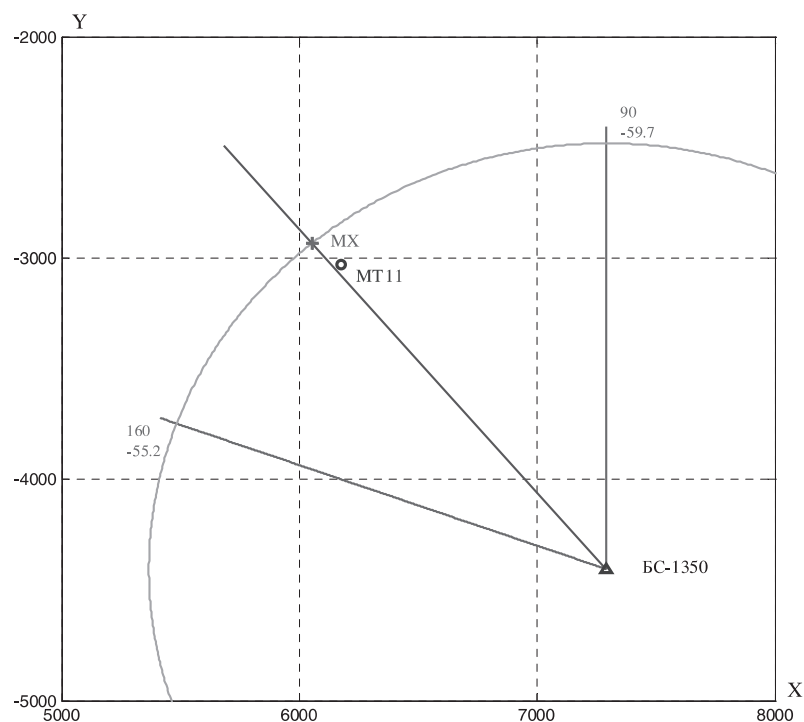


Рис. 6. Локализация с применением пеленга и TA

В этом случае пеленг определен по разности уровней мощности с использованием известных диаграмм направленности антенн в горизонтальной плоскости.

Радиус окружности, соответствующей TA , определяется с погрешностью ± 275 м. В сочетании с ошибкой вычисления пеленга в рассматриваемом случае погрешность локализации (точка

Таблица 2

Точность методов локализации МТ в БИТС

Число базовых точек	Метод локализации	δM ($\tilde{p} = 0,9$)	Примечание
1	Локационный	< 011	Погрешности вычислений: расстояние – 5 %; угол – 3°
2	Пеленгационный	0,11 ... 0,3	Погрешности вычислений: пеленг – 3° . Геометрический фактор
3	Дальномерный	0,11 ... 0,15	Погрешности вычислений: расстояние – 5 %. Геометрический фактор
	Гиперболический	0,047 ... 1,5	Погрешности вычислений: разности расстояний – 5 %. Геометрический фактор
	Относительно-дальномерный	0,07 ... 0,6	Погрешности вычислений: отношения расстояний – 10 %; альтернативная точка. Геометрический фактор



МТх1) составила 310 м.

Сравнение точности методов локализации.

В табл. 2 приведены оценки точности методов локализации при заданных погрешностях вычисления геометрических данных.

Результаты получены статистическим моделированием различных методов локализации. Доверительный интервал относительных отклонений вычисленных координат δM соответствует доверительной вероятности $\tilde{p} = 0,9$ при объемах выборки 100 000 измерений. Расстояния между БС и МТ одинаковы для всех методов.

Худшие значения точности в таблице получены при учете влияния геометрического фактора, который проявляется во всех методах локализа-

ции, за исключением локационного.

Локализация МТ в БИТС может выполняться на основе множества методов, выбор которых должен проводиться в зависимости от возможности измерений МТ и БС параметров принимаемых сигналов с требуемой точностью.

Особое внимание следует обратить на методы локализации, инвариантные к условиям распространения электромагнитных колебаний в неоднородной среде.

Сравнительно низкая точность локализации МТ в БИТС, зависящая от расстояний между МТ и БС, определяется использованием только имеющихся аппаратно-программных ресурсов БИТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Smith, W.** Passive Location of Mobile Cellular Telephone Terminals [Электронный ресурс] / W. Smith // Security Technology, IEEE International Carnahan Conf. Oct. 1991.
2. **Громаков, Ю.А.** Технология определения местоположения в GSM и UMTS [Текст] / Ю.А. Громаков. –М.: ЭКО – ТРЕНДЗ, 2005.
3. **Шебшаевич, В.С.** Сетевые спутниковые радионавигационные системы [Текст] / В.С. Шебшаевич [и др.]. –2 изд. –М.: Радио и связь, 1993.
4. Анализ состояния и тенденции развития российского рынка LBS-услуг на основе сетей СПС: Аналитический обзор [Текст]. –М.: ЗАО «Современные Телекоммуникации», 2007.
5. **Сиверс, М.А.** Способ определения местонахождения мобильного терминала в беспроводной информационной сети [Текст] / М.А. Сиверс, О.В. Кустов [и др.]: Патент № 2360378 от 18.12.2007.
6. **Милютин, Е.Р.** Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона [Текст] / Е.Р. Милютин [и др.]. –СПб.: Триада, 2003.

УДК 621.391;621.394/396;654.1

В.Ю. Садовников

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТУПА К FMC-УСЛУГАМ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ РАВНОМЕРНОЙ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ МЕЖДУ СЕТЯМИ ДОСТУПА ПРИ МИГРАЦИИ АБОНЕНТА

Происходящая в области телекоммуникаций конвергенция фиксированной и мобильной связи (FMC – Fixed-Mobile Convergence) призвана объединить существующее сегодня множество гетерогенных сетей, порой несовместимых между собой и представляющих различные услуги, в единое целое – мультисервисную сеть.

Попытка создания мультисервисной сети на базе ISDN потерпела неудачу в связи с ограниченностью ресурса и дороговизной реализации, но по мере развития сети ОКС № 7 возникла идея досту-

па к инфокоммуникационным услугам, адаптируемого в согласии с сетевыми конфигурациями. Появившаяся необходимость объединения услуг в рамках мультисервисных услуг привела к концепции NGN (NGN – Next Generation Networks) и вытекающему из нее новому стандарту IMS (IP Multimedia Subsystem). Однако вопрос доступа к услуге остается по-прежнему открытым: абонент ограничен в перемещении. Сегодня современной полномасштабной трактовкой такого доступа является концепция Always Best

Connected (ABC), которая подразумевает автоматический выбор оптимального для пользовательского устройства типа соединения из доступных [1].

Оптимальность подразумевает гладкое (без заметного разрыва связи) переключение между гетерогенными сетями доступа, прозрачную регистрацию абонентских терминалов в сетях доступа, а также единую биллинговую систему [2].

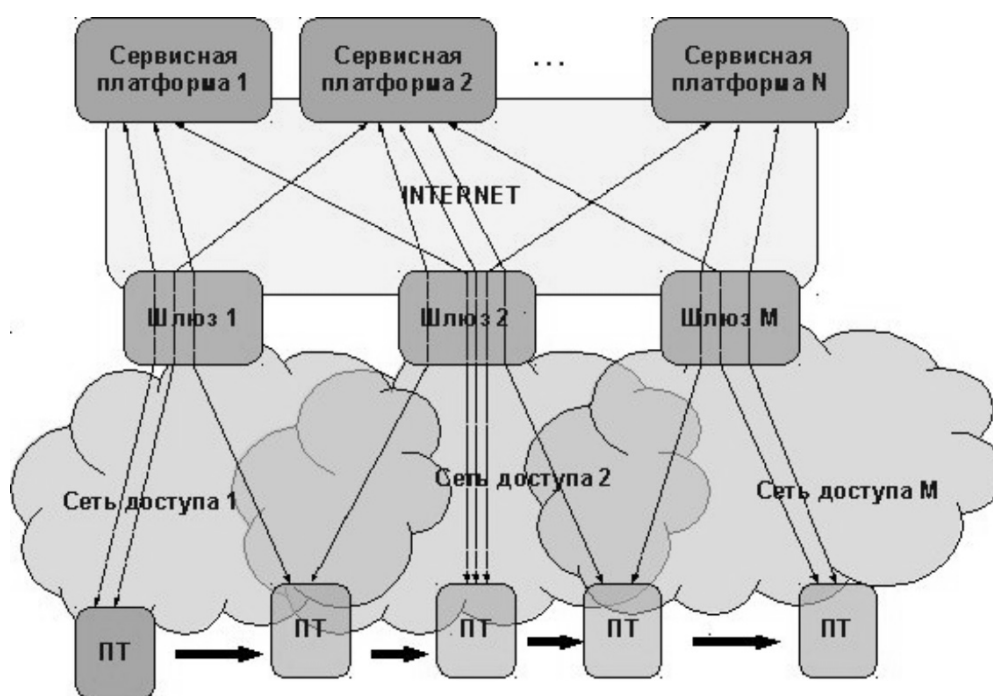
Предлагаемые на сегодня методики взаимодействия с сетями доступа базируются на следующих критериях: максимальной суммарной пропускной способности сетей, QoS и требований к трафику, определяемых пользовательскими приложениями, стоимостных характеристик ресурсов сетей (оптимизация финансовых затрат), энергозатрат (экономия энергии мобильными устройствами) [3–6].

Оптимизация по одному или нескольким из перечисленных выше критериев, в основном, сводится исследователями к усложнению логики принятия решения о выделении ресурса на базе алгоритма First Fit Decreasing (FFD) [7]. Согласно [7] эксперименты показывают, что предлагаемые варианты алгоритмов выдают наиболее близкие к оптимальным результаты по энергопотреблению и пользовательским предпочтени-

ям. Однако использование ресурсов полосы пропускания в этом решении не является лучшим, т. к. выделенная по запросу пользовательского устройства полоса пропускания не может быть всегда использована эффективно, т. е. постоянно нагружена полезным трафиком на весь период ее использования ввиду того, что в решении не учитываются классы услуг и характер порождаемого ими потока данных.

Для повышения эффективности использования сетевых ресурсов надо рассматривать трафик системы не с точки зрения ширины полосы пропускания, запрашиваемой услугой, а с точки зрения нагрузки, создаваемой этой услугой. Остается также нерешенным вопрос о миграции абонента между сетями доступа и балансировки нагрузки на сети доступа, что немаловажно для Always Best Connected.

Рисунок демонстрирует доступ пользовательского терминала (ПТ) к конвергентным услугам в процессе смены своего географического местоположения. В любой географической точке можно выделить M сетей доступа и N классов услуг. Нагрузку, обслуживаемую сетями доступа, можно выразить вектором $\vec{y} = \{y_1, \dots, y_m\}$, где $m = 1 \dots M$. Матрицы интенсивностей поступления λ и обслуживания μ нагрузок на каждую сеть доступа по каждому виду услуги



Доступ пользовательского терминала к конвергентным услугам



$$\dot{\lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_1^1 & \lambda_2^1 & \dots & \lambda_n^1 \\ \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & \dots & \lambda_n^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_1^m & \lambda_2^m & \dots & \lambda_n^m \end{pmatrix}, \quad \dot{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_1^1 & \mu_2^1 & \dots & \mu_n^1 \\ \mu_1^2 & \mu_2^2 & \dots & \mu_n^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_1^m & \mu_2^m & \dots & \mu_n^m \end{pmatrix},$$

где $n = 1 \dots N$

Основные требования к оценочной функции $o(y)$ сети доступа, позволяющей дать качественную оценку изменения загруженности ресурса каждой сети в момент запроса нового ресурса:

при отсутствии нагрузки функция должна возвращать максимальное значение: $o(y)|_{y=0} = \max$;

при максимальной нагрузке на сеть функция возвращает нулевое значение: $o(y)|_{y=1} = 0$;

функция должна быть непрерывной: $\lim_{y \rightarrow a} o(y) = o(a) \forall a \in (0, 1)$;

функция должна быть монотонно убывающей: $\frac{do(y)}{dy} < 0 \forall y \in (0, 1)$;

функция должна быть выпуклой: $\frac{d^2 o(y)}{dy^2} < 0 \forall y \in (0, 1)$.

Такая оценочная функция позволяет сделать следующие выводы.

Менее нагруженные сети доступа имеют больший приоритет по сравнению с более нагруженными сетями.

Так как выделение ресурса в более загруженной сети обходится дороже, чем в любой менее загруженной сети, распределение поступающей нагрузки между сетями доступа должно стремиться к равномерному: $\sum_{i=1 \dots M-1, j=i+1 \dots M} |y_i - y_j| \rightarrow \min$.

Это позволяет исключить ситуацию, когда среди сетей доступа со смежными зонами покрытия некоторые сети оказываются перегруженными, а некоторые в это время простаивают, т. е. не обслуживают никакой нагрузки.

Очевидно, что прирост нагрузки в каждой сети доступа при запросе ресурса для услуги n представляет собой вектор $\overline{\Delta y} = \left\{ \frac{\lambda_n^1}{\mu_n^1} \dots \frac{\lambda_n^m}{\mu_n^m} \right\}$.

Введем вектор принятия решения о распределении запрашиваемого ресурса между сетями

$\vec{d} = \{d_1, \dots, d_m\} : \sum_{m=1}^M d_m = 1, d_m \geq 0$. Вектор $\vec{d}$

всегда имеет единственную отличную от нуля составляющую, показывающую, в какой сети следует выделить запрашиваемый ресурс. Общую эффективность распределения нагрузки между сетями в момент запроса ресурса можно охарактеризовать следующей функцией:

$$\bar{O}(\vec{d}) = \sum_{m=1}^M \tilde{o}(y_m, d_m),$$

где $\tilde{o}(y_m, d_m) = o(y_m + \Delta y_m \cdot d_m)$.

На основании сказанного выше условие, по которому следует выбирать сеть доступа, чтобы максимально сохранить равномерность распределения нагрузки, следующее: необходимо найти такой вектор $\vec{d}$, что $\bar{O}(\vec{d}) \Rightarrow \max$.

Условие относится к классу задач выпуклого программирования. Следуя основной теореме математического программирования (ОТП) и методам, представленным в [8, 9], для получения оптимального вектора распределения запрашиваемого ресурса между сетями можно получить функцию Лагранжа для решения задачи:

$$\Phi(\vec{d}, \vec{\Psi}) = \bar{O}(\vec{d}) + \Psi \left(1 - \sum_{m=1}^M d_m \right).$$

При этом согласно ОТП необходимые и достаточные условия оптимальности следующие:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi(\vec{d}, \vec{\Psi})}{\partial d_m} &= \\ &= \frac{\partial \tilde{o}(y_m, d_m)}{\partial d_m} - \Psi \begin{cases} \leq 0, d_m = 0 \\ = 0, d_m > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Учитывая сформулированные требования к оценочной функции, в ходе решения дифференциальных уравнений получаем предварительную оценочную функцию сети доступа $o(y) = 1 - y^2$. При анализе производных этой функции в граничных точках интервала $[0; 1]$ выяснилось, что в точке 0 функция имеет экстремум, а ближе к точке 1 убывает с постоянной скоростью. В идеале значение ее производной в точке 1 должно стремиться к отрицательной бесконечности, что можно трактовать как невозможность выделения какого-либо ресурса полностью загруженной сетью доступа. Поэтому следует проанализировать значения производных схожей функции $o(y) = \sqrt{1 - y^2}$:

$$\lim_{y \rightarrow 0+0} \frac{do(y)}{dy} = \lim_{y \rightarrow 0+0} \left(\frac{-y}{\sqrt{1 - y^2}} \right) = \infty;$$

$$\lim_{y \rightarrow 1-0} \frac{do(y)}{dy} = \lim_{y \rightarrow 1-0} \left(\frac{-1}{\sqrt{(1-y^2)^3}} \right) = -\infty.$$

Это означает, что в точке $y = 0$ функция также имеет экстремум, а ближе к точке $y = 1$ скорость убывания функции стремится к бесконечности, что вполне подходит к нашим требованиям.

Функция Лагранжа с использованием полуценной оценочной функции:

$$\Phi(\vec{d}, \vec{\Psi}) = \sum_{m=1}^M \sqrt{1 - (y + d_m \Delta y)^2} + \Psi \left(1 - \sum_{m=1}^M d_m \right).$$

Необходимые и достаточные условия оптимальности согласно ОТМП будут следующими:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi(\vec{d}, \vec{\Psi})}{\partial d_m} = \\ = \frac{-\Delta y (y + d_m \Delta y)}{\sqrt{1 - (y + d_m \Delta y)^2}} - \Psi \begin{cases} \leq 0, d_m = 0 \\ = 0, d_m > 0 \end{cases}. \end{aligned}$$

Полученная функция Лагранжа не требует дальнейшего детального исследования, т. к. в нашем случае для выбора сети доступа нужно найти только одну единственную оптимальную компоненту вектора $\vec{d}$, отличную от нуля, т. е. оценить убывание эффективности распределения нагрузки между сетями доступа при выборе обслуживающей сети доступа:

$$k : \min_k \{ \Delta o_k = \sqrt{1 - y_k^2} - \sqrt{1 - (y_k + \Delta y)^2} \forall k = 1 \dots M \}.$$

$$\text{Найдя } k, \text{ положим } d_m = \begin{cases} 0, & m \neq k \\ 1, & m = k \end{cases}.$$

Балансировка нагрузки заключается в перераспределении ресурсов сетей доступа, т. е. в перенаправлении трафика из более нагруженных сетей доступа в менее нагруженные, что в конечном итоге приводит к равномерному распределению нагрузки между ними. Имея информацию о текущем распределении ресурсов, предоставляемых сетями доступа, и информацию об оптимальном распределении ресурсов, можно определить, какая сеть и в каком объеме должна взять на себя дополнительную нагрузку, а какая – освободиться от нее. Информация о текущем распределении ресурсов складывается по

мере запроса ресурсов сетей доступа клиентами. Оптимальное распределение необходимо рассчитывать при каждом запросе или освобождении ресурса.

На основании ранее сформулированного принятия решения о выборе сети доступа с целью максимального сохранения равномерного распределения нагрузки решим задачу поиска оптимального распределения ресурсов между сетями доступа, т. е. найдем матрицу распределения занятого между сетями доступа ресурса $\vec{d}$, распределив компоненты вектора запрашиваемого ресурса $\vec{v} = \{v_1, \dots, v_m\}$ так, что $O(\vec{d}) \Rightarrow \max$:

$$O(\vec{d}) = \sum_{n=1}^N o(\vec{d}^n) = \sum_{n=1}^N \sqrt{1 - \left(\sum_{m=1}^M \frac{\lambda_n^m}{\mu_n^m} d_n^m \right)^2}.$$

Общее количество запрашиваемых услуг, которое необходимо распределить между сетями доступа, $\sum_{m=1}^M v_m = V$. В результате распределения получается матрица $\vec{d}$, удовлетворяющая условиям:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M d_n^m = V \\ d_n^m \geq 0 \quad \forall m, n \end{cases}.$$

Так как оценочная функция сети доступа соответствует всем требованиям выпуклого программирования, то и сумма оценочных функций по каждой сети также соответствует всем требованиям ОТМП.

Решение находится алгоритмическим способом – методом максимального элемента (ММЭ) [9], в основе которого лежат два основополагающих факта: ресурсы распределяются пошагово, по одному, начиная с нулевого состояния, когда ни на одну сеть не выделено еще ни одного ресурса; на каждом шаге ресурс выделяется на ту сеть, у которой достигается минимальная потеря эффективности, что позволяет найти приближенное к оптимальному решение.

Алгоритм приближенного целочисленного распределения услуг по сетям связи с использованием ММЭ

1. Получить исходные данные: N, M , вектор $\vec{v}$, матрицы λ, μ .
2. Вычислить компоненты нагрузоч-



ной матрицы ΔY для всех сетей и услуг:

$$\Delta Y_n^m = \frac{\lambda_n^m}{\mu_n^m} \quad \forall n=1 \dots N, m=1 \dots M.$$

3. Проинициализировать матрицу распределения ресурсов между сетями и услугами: $d_n^m = 0 \quad \forall n=1 \dots N, m=1 \dots M$.

4. Проинициализировать первоначальные значения оценочной функции для каждой сети доступа: $o_m = 1 \quad \forall m=1 \dots M$.

5. Инициализировать циклическую переменную: $s = 1$.

6. Если компонента вектора запрашиваемых ресурсов равна нулю ($v_s = 0$), перейти к п. 11.

7. Вычислить оценочную функцию для всех сетей доступа с учетом занятия их дополнительной услугой:

$$o_m^+ = \sqrt{1 - \left(\sum_{n=1}^N \Delta Y_n^m \cdot d_n^m + \Delta Y_s^m \right)^2} \quad \forall m=1 \dots M.$$

8. Найти k для $\max_k \{o_k^+\} \quad \forall k=1 \dots M$.

9. Вычислить $d_n^k = d_n^k + 1$, $v_s = v_s - 1$, присвоить $o_k = o_k^+$.

10. Перейти к п. 6.

11. Если $s = N$, перейти к п. 14.

12. Вычислить $s = s + 1$.

13. Перейти к п. 6.

14. Вывести результирующую матрицу $\hat{d}$.

Алгоритм перераспределения услуг по сетям связи

1. Получить исходные данные: N, M , матрицу $\hat{d}$, матрицы λ, μ .

2. Вычислить компоненты нагрузочной матрицы ΔY для всех сетей и услуг:

$$\Delta Y_n^m = \frac{\lambda_n^m}{\mu_n^m} \quad \forall n=1 \dots N, m=1 \dots M.$$

3. Инициализировать переменную: $k = 1$.

4. Если $k \geq M - 1$, перейти к п. 11.

5. Вычислить

$$Y_r^s = \begin{cases} \sum_{n=1}^N \Delta Y_n^s \cdot d_n^s + \Delta Y_{(r-1) \bmod N + 1}^s - \\ - \Delta Y_{(r-1) \div N + 1}^s, |d_{(r-1) \div N + 1}^s| > 0 \\ -1, d_{(r-1) \div N + 1}^s \leq 0 \end{cases}$$

$\forall r=1 \dots N \cdot M, s=k \dots M.$

6. Вычислить

$$dO_r^t = \begin{cases} \sqrt{1 - (Y_r^k)^2} + \sqrt{1 - (Y_r^{k+t})^2} - \\ - \sqrt{1 - \left(\sum_{n=1}^N \Delta Y_n^k \cdot d_n^k \right)^2} - \\ - \sqrt{1 - \left(\sum_{n=1}^N \Delta Y_n^{k+t} \cdot d_n^{k+t} \right)^2}, |y_r^k| > 0 \wedge y_r^{k+t} > 0 \\ -1, |y_r^k| \leq 0 \vee y_r^{k+t} \leq 0 \end{cases}$$

$\forall r=1 \dots N \cdot M, t=0 \dots N - k - 1$

7. Найти r, t для $\max_{k,r} \{dO_r^t\} \geq 0$

$\forall r=1 \dots N \cdot M, t=0 \dots N - k - 1$. Если $\neg \exists r, t$, перейти к п. 12.

8. Вычислить $m_1 = k, m_2 = k + t, n_1 = (r - 1) \bmod N + 1, n_2 = (r - 1) \div N + 1$.

9. Если $n_1 = n_2 \vee m_1 = m_2$, перейти к п. 12.

10. Вычислить $d_{n_1}^{m_1} = d_{n_1}^{m_1} - 1, d_{n_2}^{m_2} = d_{n_2}^{m_2} + 1, d_{n_2}^{m_2} = d_{n_2}^{m_2} - 1, d_{n_1}^{m_1} = d_{n_1}^{m_1} + 1$.

11. Перейти к п. 5.

12. Вычислить $k = k + 1$.

13. Перейти к п. 5.

14. Вывести результирующую матрицу $\hat{d}$.

Первый алгоритм позволяет распределить услуги между сетями доступа, получив приближенное оптимальное решение задачи равномерного распределения нагрузки между сетями. Второй алгоритм, учитывая последовательность распределения нагрузки по классам услуг (сначала распределяются услуги первого класса, затем – второго и т. д.), дополнительно оптимизирует полученное с помощью первого алгоритма решение, перераспределяя услуги по сетям связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудометов, Е. Мобильный мир в будущем (по материалам IDF Spring 2003) [Электронный ресурс] / Е. Рудометов, В. Рудометов // Ф-Центр. –Режим доступа: <http://www.fcenter.ru/online.shtml?articles/hardware/technologies/6233> (Дата обращения 28 марта 2003)
2. Rajesh, Mishra. Always Best Connected Architecture and Design [Text] / Mishra Rajesh. –Ericsson Berkley

Wireless Center, 2002.

3. Furuskär, A. Allocation of Multiple Services in Multi-Access Wireless Networks [Text] / A. Furuskär // In proc. of the IEEE Mobile and Wireless Communication Networks, MWCN '02. –2002. –P. 261–265.

4. Furuskär, A. Radio Resource Sharing and Bearer Service Allocation for Multi-bearer Service, Multi-

access Wireless Networks – Methods to Improve Capacity [Электронный ресурс] / A. Furuskär // Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology, TRITA-S3-RST-0302, ISSN 1400-9137, ISRN KTH/RST/R-03/02-SE. –Режим доступа: <http://media.lib.kth.se:8080/dissengrefhit.asp?dissnr=3502> (Дата обращения Май 2003)

5. **Furuskär, A.** Multi-service Allocation for Multi-access Wireless Systems [Электронный ресурс] / A. Furuskär, J. Zander // To appear in the IEEE Transactions on Wireless Communication.

6. **Fodor, G.** On access selection techniques in always best connected networks [Text] / G. Fodor, A. Furuskär, J. Lundsjo // ITC Specialist Seminar on Performance Evaluation of Wireless and Mobile Systems. –Aug. 2004.

7. **Bo, Xing.** Multi-constraint dynamic access selection in Always Best Connected networks [Text] / Xing Bo, Venkatausbramanian Nalini. –Donald Bren School of Information and Computer Sciencies, University of California.

8. **Дымарский, Я.С.** Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи [Текст] / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский // Сер. Связь и бизнес. –М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. –384 с.

9. **Дымарский, Я.С.** Методы Оптимизации сетей связи: Методические указания и контрольные задания. Для студентов специальностей 200900, 220200, 220400, 550400 [Текст] / Я.С. Дымарский. –СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2003.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОКОГНИТРОНА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ОБЪЕКТА НА ВИДЕОПОТОКЕ

Системы компьютерного зрения активно развиваются и применяются в прикладных задачах. Такие задачи, как распознавание образов, сегментация изображений, оценка параметров объектов на изображениях, слежение за объектами на текущий момент решаемы. Существующие методы и алгоритмы позволяют решать данный класс задач в прикладных системах. Исследования в области распознавания действий объектов на современном этапе развития компьютерного зрения остаются актуальным направлением, т. к. существующие методы и алгоритмы решают узкоспециализированный класс прикладных задач. Представленная в данной статье методика классификации действий объекта по данным видеопотока при помощи неокогнитрона позволяет решать более широкий класс подобных задач. Решение настоящей проблемы связано с выделением пространственно-временных характеристик действий объекта и классификацией действий по данным характеристикам. Проблематике классификации и посвящена статья.

Постановка задачи

Пусть существует некоторая область пространства, в данном пространстве существуют объекты, совершающие перемещения в пространстве. Некоторую конечную последовательность данных перемещений, будем называть действием объекта.

Кадром будем называть проекцию анализируемой сцены на фокальную плоскость регистрирующего прибора (видеокамеры) в момент времени. Видеопотоком будем называть последовательность кадров, зарегистрированных через равные промежутки времени Δt .

Кадр является проекцией светового потока на фокальную плоскость (далее – плоскость). На рас-

сматриваемой плоскости определена непрерывная функция интенсивности для каждой точки с координатами x, y , которая определяет значение интенсивности светового потока в данной точке:

$$I = I(x, y). \quad (1)$$

Для анализа кадра при помощи вычислительных машин требуется дискретизация функции интенсивности. Плоскость разбивается на $M \times N$ равных квадратных ячеек, в каждой ячейке проводится квантование функции интенсивности. Следовательно, кадр можно представить в виде матрицы размерности $M \times N$, элементы которой являются значением квантованной функции интенсивности в соответствующей ячейке. Элемент полученной матрицы будем называть пикселем.

Видеопоследовательность, являющаяся последовательностью кадров, зарегистрированных через равные промежутки времени, может быть записана следующим образом:

$$S = \{I_0, I_1, \dots, I_n\}, \quad (2)$$

где I_0 – функция интенсивности, определенная на кадре, зарегистрированном в момент времени t_0 ; I_1 – функция интенсивности, определенная на кадре, зарегистрированном в момент времени $t_0 + \Delta t$; I_n – функция интенсивности, определенная на кадре, зарегистрированном в момент времени $t_0 + \Delta t \cdot n$.

Отсюда видно, что значение интенсивности пикселя зависит от его координат и момента времени, в который был зарегистрирован кадр, следовательно, можно записать функцию интенсивности, определенную на всем видеопотоке, следующим образом:

$$I = I(x, y, t). \quad (3)$$

Так как объект является частью сцены, а сце-

на представлена матрицей пикселей, то он описывается совокупностью некоторых пикселей данной матрицы. Изменение положения объекта в пространстве, т. е. движение объекта, вызывает изменение координат пикселей объекта в последовательности кадров.

Для вычисления пространственно-временных характеристик перемещений объекта будем использовать оптический поток [1]. Оптический поток есть векторное поле двумерных векторов, соответствующее смещению пикселей изображений объектов, вызванное сменой кадра, т. е. характеризует траекторию и скорость движения пикселей при смене кадров.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n w_i I_x(q_i)^2 & \sum_{i=1}^n w_i I_x(q_i) I_y(q_i) \\ \sum_{i=1}^n w_i I_x(q_i) I_y(q_i) & \sum_{i=1}^n w_i I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^n w_i I_x(q_i) I_t(q_i) \\ -\sum_{i=1}^n w_i I_y(q_i) I_t(q_i) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где (V_x, V_y) – вектор оптического потока в точке p ; $q_1, q_2, \dots, q_n$ – пиксели окрестности точки p ; $I_x(q_i), I_y(q_i), I_t(q_i)$ – частные производные изображения I по координатам x, y и времени t , вычисленные в точке q_i ; w_i – веса, которые будут присвоены пикселям q_i окрестности точки p , в качестве весов w_i будем использовать нормальное гауссовское распределение расстояния между q_i и p .

Решением данного уравнения будет множество векторов смещений пикселей объекта, которые и образуют векторное поле смещений, описываемого вектор-функцией $V(x, y, t)$.

Классификацию действий объекта по полученным характеристикам будем производить при помощи неоконитрона. Использование нейронной сети типа «неоконитрон» обусловлено тем, что согласно [4] данный тип нейронной сети при распознавании образов обладает следующими преимуществами: инвариантностью к позиционным сдвигам; инвариантностью к аффинным преобразованиям; инвариантностью к масштабированию; инвариантностью к частичному перекрытию и потерям изображения.

Вход неоконитрона – двумерная плоскость нейронов, также называемая *сетчаткой*, требуется преобразовать векторное поле пространственно-временных характеристик действий объекта в вид функции, определенной на конечном дискретном пространстве размерности 2 для подачи на вход неоконитрона, причем при данном преобразовании не должны происходить потери

Существующие методы вычисления оптического потока используются для определения «схожих» точек на двух кадрах, в решении данной задачи он используется для описания перемещений наблюдаемого объекта. На текущий момент разработано большое количество методов вычисления оптического потока, но исходя из [2] наиболее подходящим для решения поставленной задачи является метод Лукаса–Канада [3], т. к. он обладает рядом преимуществ относительно других: малой вычислительной сложностью и устойчивостью к шумам на входном изображении.

Уравнение оптического потока по Лукасу–Канада имеет следующий вид:

информации о характере движения объекта.

Преобразование

Для задания движения твердого тела нужно определить положение только трех его точек, не лежащих на одной прямой, а кинематической моделью твердого тела будет треугольник, построенный по этим трем точкам. Следовательно, для точного описания движения тела для каждого момента времени t_n достаточно трех векторов из поля $V(x, y, t)$, где

$$V(x, y, t) > 0. \quad (5)$$

Выберем три точки $P_0 = (x_1, y_1)$, $P_1 = (x_2, y_2)$, $P_2 = (x_3, y_3)$, такие, что для момента времени t_n

$$\begin{cases} |\overrightarrow{P_0 P_1}| = \max(\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}) \\ |\overrightarrow{P_1 P_2}| = \max(\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2}) \\ |\overrightarrow{P_3 P_1}| = \max(\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}), \\ |V(x_1, y_1, t_n)| > 0 \\ |V(x_2, y_2, t_n)| > 0 \\ |V(x_3, y_3, t_n)| > 0 \end{cases} \quad (6)$$

т. е. выбранные точки являются максимально удаленными друг от друга (рис. 1).

Из кинематики твердого тела известно, что точкой, характеризующей движение системы частиц как целого, является центр масс. Найдем центр масс P_c системы $P_0 P_1 P_2$:

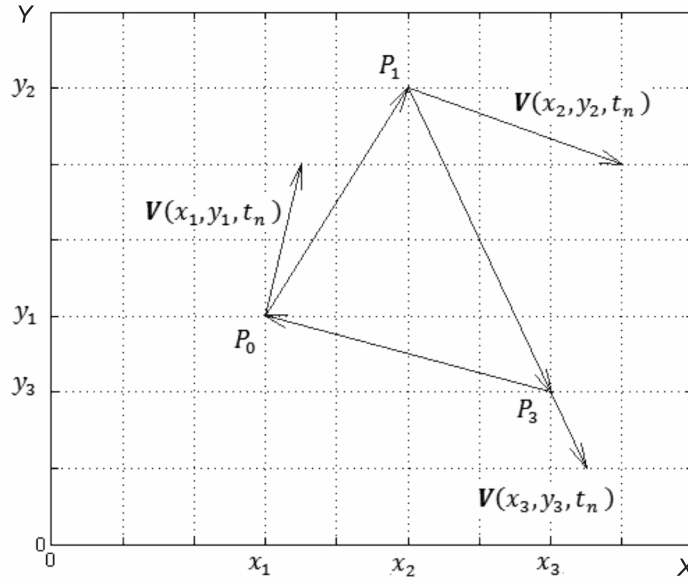


Рис. 1. Система точек

$$x_c = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \quad (7)$$

$$y_c = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, \quad (8)$$

$$P_c = (x_c, y_c). \quad (9)$$

Вычислим вектор скорости V_c для найденного центра масс P_c :

$$V_{P_c} = \left(\frac{V_{x_1} + V_{x_2} + V_{x_3}}{3}, \frac{V_{y_1} + V_{y_2} + V_{y_3}}{3} \right). \quad (10)$$

Найденный вектор скорости является вектором средней скорости объекта и описывает поступательное движение центра масс. Так как в общем случае движение объекта характеризуется двумя составляющими (поступательным и вращательным движением), требуется учитывать вращательную характеристику.

Введем вращательную характеристику. Рассмотрим движение центра масс как вращение относительно какой-либо из выбранных вначале точек. В качестве примера возьмем точку P_0 . Вос-

пользуемся уравнением Эйлера для связи скоростей двух точек:

$$V_c = V_{P_0} + \vec{\omega} \times \overline{P_0 P_c}, \quad (11)$$

где $\vec{\omega}$ – угловой вектор скорости объекта.

Скорость вращения центра масс относительно точки P_0 находится следующим образом:

$$V_{P_c} V_{P_0} = \vec{\omega} \times \overline{P_0 P_c}. \quad (12)$$

То есть

$$V_{P_c P_0} = V_{P_c} - V_{P_0}. \quad (13)$$

V_{P_0} известно, т. к. входит в найденное векторное поле смещений точек объекта, V_{P_c} вычисляется по соотношению (10). Из соотношений (11)–(13) очевидно, что вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ равен для всех точек объекта. Отсюда следует, что зная значения вектора скорости центра масс V_{P_c} и вектора скорости вращения центра масс относительно какой-либо точки объекта $V_{P_c P_0}$, можно найти вектор скоростей для любой точки объекта. То есть движение объекта однозначно характеризуется двумя вектор-функциями:

$$\begin{cases} V_{P_c}(t) = \frac{V_{x_1}(t) + V_{x_2}(t) + V_{x_3}(t)}{3} \cdot x + \frac{V_{y_1}(t) + V_{y_2}(t) + V_{y_3}(t)}{3} \cdot y, \\ V_{P_c P_0}(t) = V_{P_c}(t) - V(x_1, x_2, t) \end{cases} \quad (14)$$

где x и y – координатные орты.

Применение неокогнитрона

Неокогнитрон принимает на вход матрицу

значений, размерность которой соответствует размерности входной плоскости нейронов. Пусть x и y – количество нейронов по соответствующему направлению входной плоскости. Тогда

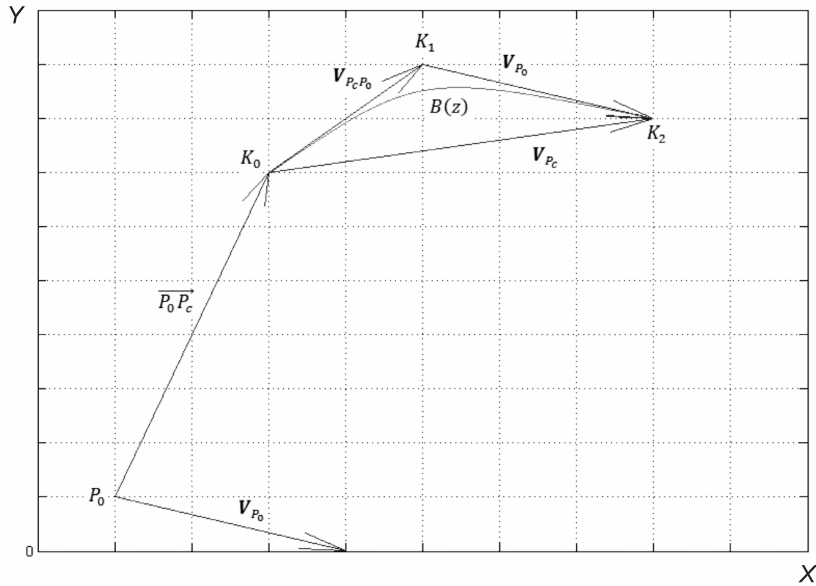


Рис. 2. Характеристические точки

функция $F = F(x, y)$ будет дискретной функцией входных значений, а областью определения данной функции является матрица M входных значений размерности $x \times y$.

Функция должна однозначно характеризовать движения объекта в целом. Как мы уже знаем, система уравнений (14) однозначно характеризует движение объекта, следовательно, значения функции F должны зависеть от положения точки центра масс P_c , вектора скорости точки центра масс V_{P_c} и вектора скорости вращения точки центра масс относительно любой другой точки $V_{P_c P_0}$.

Возьмем точки K_0, K_1, K_2 :

$$\begin{aligned} K_0 &= (x_c, y_c), \\ K_1 &= (x_c + V_{P_c P_0 x}, y_c + V_{P_c P_0 y}), \\ K_2 &= (x_c + V_{P_c x}, y_c + V_{P_c y}), \end{aligned} \quad (15)$$

т. е. координаты точки K_0 – координаты точки центра масс объекта; координаты точки K_1 – координаты конца вектора скорости вращения центра масс относительно точки P_0 ; координаты точки K_2 – координаты конца вектора скорости точки центра масс.

Найдем кривую Безье для данных трех точек:

$$\begin{aligned} B(z) &= (1-z)^2 K_0 + \\ &+ 2z(1-z)K_1 + z^2 K_2, z \in [0, 1]. \end{aligned} \quad (16)$$

На рис. 2 приведено графическое представление данного преобразования.

Как видно из графика вектора $V_{P_c P_0}$ и $V_{P_c} - V_{P_c P_0}$ – касательные к кривой Безье. Исходя

из соотношений (15) и (16) очевидно, что по полученной кривой можно восстановить значения векторов скоростей V_{P_c} и $V_{P_c P_0}$, в то же время исходя из (11)–(13) можно восстановить вектор скорости для любой точки данного тела. Полученное уравнение кривой однозначно характеризует движение данного тела, но не учитывает направление движения.

Для каждой пары кадров t_n и t_{n+1} находится кривая Безье $B_n(z)$, множество найденных точек всех кривых Безье $B_1(z) \dots B_n(z)$ за промежуток времени $[t_0, t_{n+1}]$ является областью определения функции F входных данных неоконитрона. Для учета направления движения требуется ввести временную составляющую, тогда пусть значение F растет с течением времени, т. е. производная функции F по $\hat{x}$ и $\hat{y}$ – характеристика направления движения. Тогда функция F принимает следующий вид:

$$F(B_n(z)) = n + z, z \in [0, 1]. \quad (17)$$

Следовательно, область определения функции F , матрица M входных значений для подачи на сетчатку неоконитрона, будет такой, что

$$\begin{cases} m_{ij} = n + z \\ i = B_{n_x}(z) \\ j = B_{n_y}(z) \\ z \in [0, 1] \end{cases} \quad (18)$$

Для рассмотренного выше примера графическое представление функции F изображено на рис. 3.

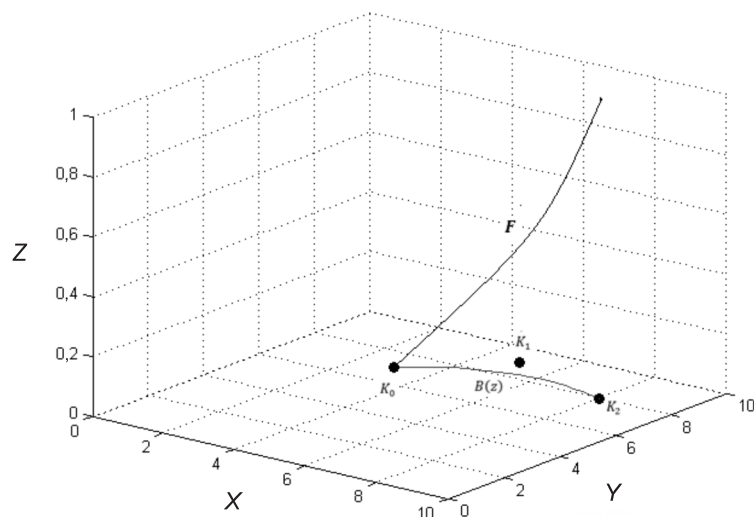


Рис. 3. Характеристическая кривая

Далее матрица значений функции F подается на вход неокогнитрона. В случае успешной классификации действия объекта область определения функции обнуляется, в обратном случае – расширяется на $B_n(z)$.

Ввиду использования для классификации нейронной сети типа «неокогнитрон», данный алгоритм обладает высокой устойчивостью к шумам на входном видеопотоке, к ориентации объекта в пространстве, к частичному перекрытию наблюдаемого объекта другими объектами сцены в процессе совершения объектом действий. Также данный алгоритм обладает небольшой вычислительной сложностью, т. к. для вычисле-

ния пространственно-временных характеристик движения наблюдаемого объекта используются только три точки данного объекта, т. е. скорость выполнения алгоритма не зависит от разрешения входного видеопотока и может выполняться в реальном времени. Данный алгоритм применим для классификации действий любых объектов, поскольку использует только ключевые точки наблюдаемого объекта. За счет низкой вычислительной сложности и устойчивости к качеству входных данных может применяться во многих прикладных приложениях, таких, как охранные системы, робототехника, системы мониторинга, автоматизированные системы судейства спортивных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Prazdny, K.** The information in optical flows [Text] / K. Prazdny. –Computer Science Department. University of Essex, Colcheste, 1980.
2. **Barron, J.L.** The computation of optical flow [Text] / J.L. Barron, S.S. Beauchemin // ACM Computing Surveys. –1995. –№27. –P. 433–466.
3. **Lucas, B.D.** An iterative image registration technique with an application to stereo vision [Text] /

- B.D. Lucas, T. Kanade // Proc. of Imaging Understanding Workshop. –1981. –P. 121–130.
4. **Fukushima, K.** Neocognitron: A neural network model for a mechanism of visual pattern recognition [Text] / K. Fukushima, S. Miyake, I. Takayuki // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics SMC. –1983. –№ 13 (5). –P. 826–34.

УДК 681.3

С.Ф. Тюрин, А.В. Греков, В.С. Коржев

СКОЛЬЗЯЩЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ С ИЗБЫТОЧНЫМ БАЗИСОМ

Одним из динамично развивающихся в настоящее время направлений интегральной технологии являются программируемые логические интегральные схемы – ПЛИС [1].

ПЛИС (*programmable logic device*, PLD) – это программируемая большая интегральная схема (ПБИС), интегральная схема с программируемой структурой (ИСПС), в которую загружается файл конфигурации универсальных аппаратных средств, необходимый пользователю [1].

ПЛИС FPGA (*field-programmable gate array*) – программируемые пользователем вентильные матрицы (ППВМ), имеющие множество логических элементов, конфигурируемых пользователем логических блоков (КЛБ), и гибкую архитектуру [1], применяются, например при построении коммутаторов и сетевых мостов с высокой пропускной способностью [2].

Тенденция дальнейшего развития технологии ПЛИС – введение блоков встроенной диагностики, например логических анализаторов для доступа к любому элементу работающей схемы без затрат трассировочных ресурсов схемы.

Сложность таких ПЛИС – сотни и тысячи программируемых логических элементов. Время загрузки файла конфигурации объемом до одного мегабайта составляет от нескольких десятков до сотен миллисекунд. Стоимость одной ПЛИС – несколько сотен рублей. В перспективе на ПЛИС планируется строить перестраиваемые, саморезервируемые системы с автоматической адаптацией функциональных блоков под требуемый алгоритм. Однако в настоящее время методы повышения отказоустойчивости ПЛИС ориентированы, в основном, на восстановление блоков памяти за счет резервных ячеек.

В связи с этим одной из важных проблем повышения надежности, отказоустойчивости программируемых логических интегральных схем типа FPGA, используемых в системах ответственного, критического применения, является разработка методов и средств восстановления логики – конфигурируемых логических блоков [3].

Различают пассивную и активную отказоустойчивость [4–7]. Пассивная отказоустойчивость основывается на структурном резервировании, при этом обеспечивается маскирование отказов.

Активная отказоустойчивость подразумевает менее затратное резервирование, а также процедуры диагностирования и реконфигурации массива работоспособных элементов. Одним из методов повышения активной отказоустойчивости, в т. ч. логики ПЛИС, является скользящее резервирование [7].

Скользящее резервирование при n основных элементах и m резервных обеспечивает работоспособность в случае, если работоспособно подмножество R элементов мощностью $|R| \geq n$. Переключающее устройство (ПУ) при отказе элемента подключает оставшиеся резервные.

Для экспоненциальной модели отказов вероятность безотказной работы описывается выражением [7]:

$$P_{\text{СССР}}(t) = \sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot [1 - e^{-\lambda t}]^{n+m-i} \cdot e^{-\lambda_{\text{пу}} t}. \quad (1)$$

Здесь $P_{\text{СССР}}$ – вероятность безотказной работы системы со скользящим резервированием (СССР); $\lambda_{\text{пу}}$ – интенсивность отказов переключающего устройства ПУ; t – время.

Например $n = 10$, $m = 5$, тогда

$$P_{\text{СССР}}(t) = \sum_{i=10}^{15} C_{15}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot [1 - e^{-\lambda t}]^{15-i} \cdot e^{-\lambda_{\text{пу}} t}. \quad (2)$$

Раскроем сумму:

$$\begin{aligned} P_{\text{СССР}}(t) = & [C_{15}^{10} \cdot e^{-10\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-10} + \\ & + C_{15}^{11} \cdot e^{-11\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-11} + \\ & + C_{15}^{12} \cdot e^{-12\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-12} + \\ & + C_{15}^{13} \cdot e^{-13\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-13} + \\ & + C_{15}^{14} \cdot e^{-14\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-14} + \\ & + C_{15}^{15} \cdot e^{-15\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-15}] \cdot e^{-\lambda_{\text{пу}} t}. \end{aligned} \quad (3)$$

То есть из 15 элементов должны быть работоспособны любые 10.

График зависимости $P_{\text{СССР}}$ от числа резервных элементов для $n = 10$ при $\lambda = 10^{-6}$ представлен на рис. 1.

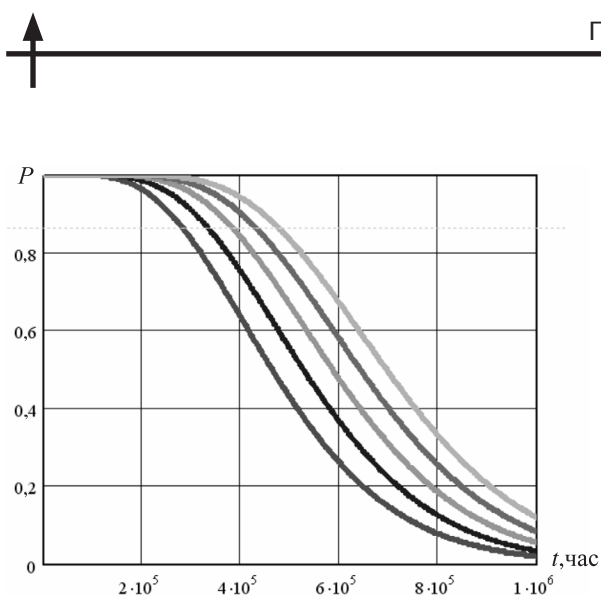


Рис. 1. Зависимость $P_{СССР}$ от числа резервных элементов для $n = 10$ при $\lambda = 10^{-6}$
 $P(j, 10, 5, t, \lambda); P(j, 10, 6, t, \lambda); P(j, 10, 6, t, \lambda);$
 $P(j, 10, 8, t, \lambda); P(j, 10, 9, t, \lambda)$

Восстановление возможно до тех пор, пока имеются неиспользуемые работоспособные ячейки (реально используется 70–80 % функциональных возможностей ПЛИС, а то и меньше!).

Упрощение диагностирования возможно за счет введения пассивно-активной отказоустойчивости, когда фиксируется отказ одного из трех, например, каналов, в котором начинается замена элементов на резервные с контролем функционирования, до тех пор, пока не произойдет сравнение с работоспособными каналами. При этом необходимо допущение, что два работоспособных канала за время реконфигурации отказавшего канала не откажут.

Постановка задачи

Цель статьи – разработка и исследование подхода к повышению отказоустойчивости КЛБ ПЛИС на основе скользящего резервирования логических элементов с избыточным базисом.

При этом рекомендуется использование ограниченных возможностей отказавших ячеек ПЛИС, т. е. своего рода «внутреннее» резервирование. В [8–10] предлагается создание избыточных конфигурируемых базисов, сохраняющих функциональную полноту при заданной модели отказов и обеспечивающих работоспособность на подмножестве базисов подмножества элементов. Такие элементы названы *функционально полными толерантными* (ФПТ).

В этом случае отказавшие элементы из системы со скользящим резервированием остаются в резерве, если они сохраняют базис, и могут быть

использованы, но для реализации исходного базиса их потребуется больше.

Рассмотрим в качестве элементов системы со скользящим резервированием и восстановлением (СССРВ) логические элементы с избыточным базисом – функционально полные толерантные элементы, сохраняющие функциональную полноту при заданной модели отказов.

Предлагается пассивно-активная отказоустойчивость – мажоритарное скользящее резервирование с восстановлением на основе ФПТ элементов (рис. 2).

На рисунке указаны три канала КЛБ и троированные мажоритарные элементы (МЭ), в каждом канале используется скользящее резервирование с восстановлением на основе ФПТ элементов.

Экспериментальная часть

Функционально полный толерантный элемент для модели константных однократных отказов входов реализует функцию $x_1 x_2 \vee x_3 x_4$ или, что то же самое, функцию $(x_1 \vee x_2)(x_3 \vee x_4)$ [8–10].

Все модификации $f_{4383} = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$ для однократных константных отказов входов $x_2 \vee x_3 x_4$, $x_1 \vee x_3 x_4$, $x_1 x_2 \vee x_4$, $x_1 x_2 \vee x_3$ представляют собой функции трех аргументов f_{31}, f_{87} , обладающие функциональной полнотой, и функцию f_1 двух аргументов – известный базис Вебба (стрелка Пирса $\downarrow$) $x_3 x_4$, $x_1 x_2$. Базис сохраняется и при замы-

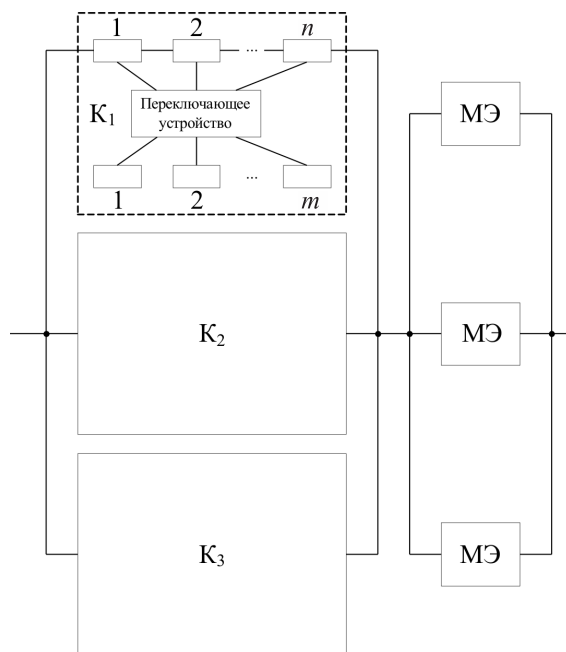


Рис. 2. Пассивно-активная отказоустойчивость

кании соседних входов, например, второго входа с третьим: $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_2 x_4} = \overline{x_2}(\overline{x_1} \vee \overline{x_4})$.

Восстановление отказавших основных (резервных) элементов эквивалентно их увеличению при допущении, что они восстанавливаются по мере наступления отказов. Но для восстановления одного элемента надо несколько отказавших.

Так, если остаются базисы Вебба (стрелка Пирса↓), $\overline{x_1 x_2}$, $\overline{x_3 x_4}$, то для получения базиса $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3 x_4}$ необходимо четыре элемента с таким базисом – два для реализации двух конъюнкций $\overline{x_1 x_2}$, $\overline{x_3 x_4}$, один для двухместной операции ИЛИ-НЕ и один инвертор:

$$\overline{\overline{\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3 x_4}}} \quad (4)$$

Если имеется один элемент с одним из базисов $\overline{x_2} \vee \overline{x_3 x_4}$, $\overline{x_1} \vee \overline{x_3 x_4}$, $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_4}$, $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3}$, необходима декомпозиция, например, вида:

$$\overline{\overline{\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3 x_4}}} \quad (5)$$

а это два элемента с базисом $\overline{x_1 x_2}$, $\overline{x_3 x_4}$ и один элемент $\overline{x_1} \vee \overline{x_3 x_4}$ – всего три.

В случае наличия максимальных базисов $\overline{x_2} \vee \overline{x_3 x_4}$, $\overline{x_1} \vee \overline{x_3 x_4}$, $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_4}$, $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3}$, для восстановления необходимо минимум три элемента.

Таким образом, восстановление отказавших элементов для ФПТ базиса $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3 x_4}$ эквивалентно дополнительным минимум $\left\lceil \frac{m}{4} \right\rceil$ элементов, максимум $\left\lceil \frac{m}{3} \right\rceil$ где $\lceil \cdot \rceil$ (INT) – ближайшее меньшее натуральное число. Естественно, в общем случае для различных абстрактных базисов будет иметь место выражение:

$$\left\lceil \frac{m}{r} \right\rceil,$$

где r – максимальное требуемое количество отказавших элементов для восстановления исходной функции.

Если из четырех отказавших элементов восстановится один, то увеличение вероятности безотказной работы будет

$$P_{\text{доп}} = C_{15}^6 \cdot e^{-9\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-9}. \quad (6)$$

Это значит, что схема работоспособна и при шести отказах. То есть новая формула минимальной вероятности безотказной работы будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} P_{\text{СССР}_{\text{мин}}}(t) = & [C_{15}^{10} \cdot e^{-10\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-10} + \\ & + C_{15}^{11} \cdot e^{-11\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-11} + \\ & + C_{15}^{12} \cdot e^{-12\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-12} + \\ & + C_{15}^{13} \cdot e^{-13\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-13} + \\ & + C_{15}^{14} \cdot e^{-14\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-14} + \\ & + C_{15}^{15} \cdot e^{-15\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-15} + \\ & + C_{15}^6 \cdot e^{-9\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-9}] \cdot e^{-\lambda_{\text{ны}} t}. \end{aligned} \quad (7)$$

Эта новая формула для необходимых четырех элементов для восстановления одного полного.

Если надо всего три, то приращение будет больше. Когда откажут три элемента, схема работоспособна, а из этих трех отказавших восстанавливают один. Потом отказывают еще два – их недостаточно для восстановления. При шести отказах подключается восстановленный, если отказывает еще один (седьмой – не восстановленный, а нормальный), то теперь отказавших три и из них восстанавливается еще один, т. е. схема будет работать при семи отказах:

$$\begin{aligned} P_{\text{СССР}_{\text{мин}}}(t) = & [C_{15}^{10} \cdot e^{-10\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-10} + \\ & + C_{15}^{11} \cdot e^{-11\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-11} + \\ & + C_{15}^{12} \cdot e^{-12\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-12} + \\ & + C_{15}^{13} \cdot e^{-13\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-13} + \\ & + C_{15}^{14} \cdot e^{-14\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-14} + \\ & + C_{15}^{15} \cdot e^{-15\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-15} + \\ & + C_{15}^6 \cdot e^{-9\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-9} + \\ & + C_{15}^7 \cdot e^{-8\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{15-8}] \cdot e^{-\lambda_{\text{ны}} t}. \end{aligned} \quad (8)$$

Количество «восстановленных» элементов (если для восстановления одного надо r отказавших) из количества m равно:

$$v = \left\lceil \frac{m}{r} \right\rceil. \quad (9)$$

Например, $m = 5$; $r = 4$; $v = 1$.

То есть дополнительно можно парировать шестой отказ.

Остаток будет

$$w = m - r \left\lceil \frac{m}{r} \right\rceil. \quad (10)$$

В нашем случае $w = 1$.

$$1 \leq w \leq r - 1. \quad (11)$$

Остатки могут пригодиться в дальнейшем при последующих отказах элементов из количества n .

Если не считать остатки, то количество $v_1 = \left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor$ используется для парирования v_1 дополнительных к m отказов. Например, $m = 18$; $r = 4$; $v = 4$. Значит, после отказа еще четырех элементов можно восстановить еще один элемент, т. е. еще будет парировано дополнительных отказов:

$$v_2 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor. \quad (12)$$

В принципе «вложенность» дробей может быть большая, но парировается дополнительных отказов не более n . Считаем, что повторно отказавшие элементы не восстанавливаются (хотя в

ряде случаев это возможно, например переход из трехэлементного базиса в двухэлементный).

Получаем ряд:

$$m; v_1 = \left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor; v_2 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor; v_3 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor. \quad (13)$$

Это не что иное, как геометрическая прогрессия, но с выделением целой части

$$\sum v_i = \theta \leq n. \quad (14)$$

Сумма показывает дополнительное число парированных отказов без учета «остатков».

Если учитывать «остатки», то

$$v_2 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor + m - r \left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor \text{ или } v_2 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor (1-r) + m}{r} \right\rfloor$$

$$m; v_1 = \left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor; v_2 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor (1-r) + m}{r} \right\rfloor;$$

$$v_3 = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor (1-r) + m}{r} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor (1-r) + m - r \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor (1-r) + m}{r} \right\rfloor}{r} \right\rfloor. \quad (15)$$

В первом приближении (для восстановления из m отказавших) получаем для v_1 :

$$P_{\text{CCCP}}(t) = \sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \cdot e^{-\lambda_{\text{ны}} t} + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \cdot e^{-\lambda_{\text{ны}} t}. \quad (16)$$

В случае дополнительных затрат на восстановление оказавших $\lambda_{\text{в}}$ получаем:

$$P_{\text{CCCP}}(t) = \sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \cdot e^{-\lambda_{\text{ны}} t} + \quad (17)$$

$$+ \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \cdot e^{-(\lambda_{\text{ны}} + \lambda_{\text{в}}) t}.$$

Если дополнительные затраты имеют вид:

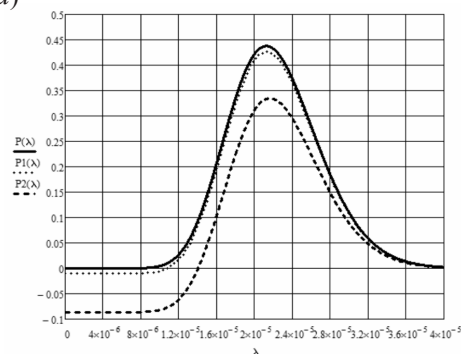
$$P_{\text{CCCP}}(t) = \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \right] e^{-(\lambda_{\text{ны}} + \lambda_{\text{в}}) t}, \quad (18)$$

то необходимо определить условия получения выигрыша δP за счет восстановления отказавших элементов при введении дополнительной общей избыточности λ_B .

Пусть задано значение выигрыша $\delta P_{\text{тр}}$, тогда

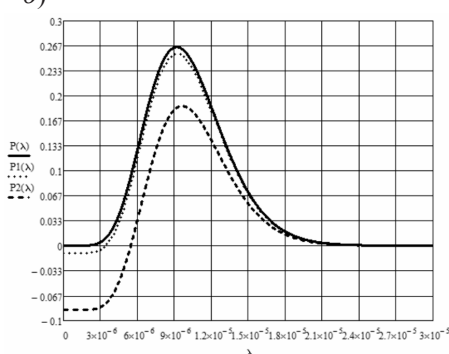
$$\delta P_{\text{тр}} = \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} + \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^{\left[\frac{m}{r} \right]} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \right] e^{-(\lambda_{\text{тр}} + \lambda_B)t} - \\ - \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \right] e^{-\lambda_{\text{тр}} t}. \quad (19)$$

а)

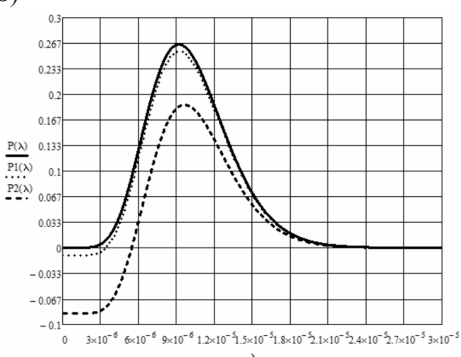


б)

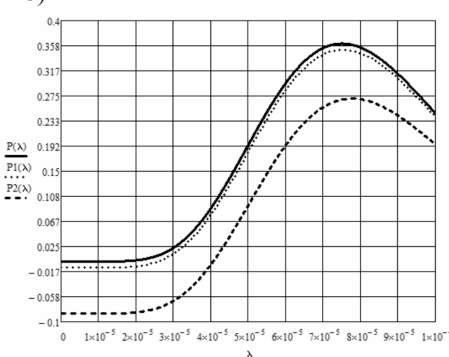
б)



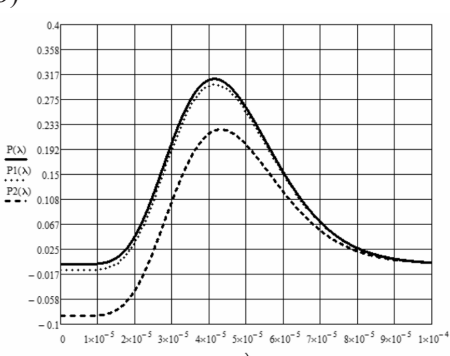
в)



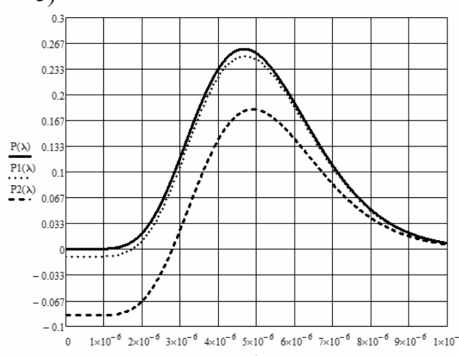
г)



д)



е)



Формула (19) моделируется для расчетов в СКМ «MathCad».

Анализ полученных результатов

На рис. 3 представлены результаты расчетов выигрыша в вероятности безотказной работы ПЛИС-ФПТ при различных параметрах СССРВ (рис. 4), где $P(\lambda)$, $P1(\lambda)$, $P2(\lambda)$ – значение $\delta P_{\text{тр}}$ при различных параметрах. Параметры моделирования (количество логических элементов и интенсивности отказов) основаны на показателях сложности и надежности типовых ПЛИС FPGA фирмы Altera.

Рис. 3. График выигрыша в вероятности безотказной работы ПЛИС-ФПТ:

а – при $n = 100$, $m = 20$, $r = 4$; б – при $n = 100$, $m = 10$, $r = 4$; в – при $n = 100$, $m = 8$, $r = 4$;
г – при $n = 10$, $m = 8$, $r = 4$; д – при $n = 20$, $m = 8$, $r = 4$; е – при $n = 200$, $m = 8$, $r = 4$

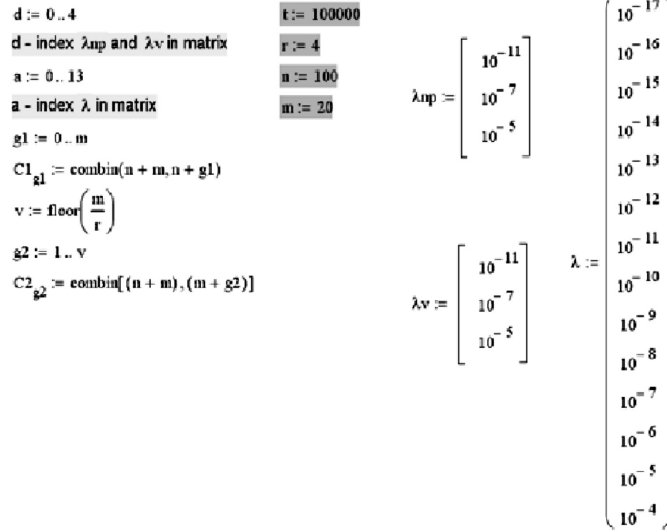


Рис. 4. Расчетные параметры СССР ПЛИС-ФПТ

Теперь найдем значение производной по λ от функции выигрыша в вероятности безотказной работы ПЛИС ($\delta P_{\text{тр}}$) с помощью системы компьютерной математики MathCAD:

$$\begin{aligned}
 \delta P'_{\text{тр}} = & \left\{ \sum_{i=n}^{m+n} [t \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot e^{-\lambda_{\text{в}} i t} (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{m+n-i-1} \times \right. \\
 & \times C_{m+n}^i \cdot (m+n-i) - i \cdot t \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{m+n-i} \times \\
 & \times C_{m+n}^i] + \sum_{j=1}^r [t \cdot e^{\lambda \cdot t \cdot (j-n)} (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{j+m-1} \times \\
 & \times C_{m+n}^{j+m} \cdot (j+m) \cdot e^{\lambda \cdot t} + t \cdot e^{\lambda \cdot t \cdot (j-n)} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{j+m} \times \\
 & \times (j-n) \cdot C_{m+n}^{j+m}] \cdot e^{-(\lambda_{\text{ПВ}} + \lambda_{\text{В}}) \cdot t} - \\
 & - \left(\sum_{i=n}^{n+m} [t \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot e^{-\lambda_{\text{в}} i t} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{m-i+n-1} \times \right. \\
 & \times C_{m+n}^i (m-i+n) - i \cdot t \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})^{m-i+n} \times \\
 & \times C_{m+n}^i] \cdot e^{-\lambda_{\text{ПВ}} t} \cdot
 \end{aligned} \quad (20)$$

На рис. 5 представлены результаты расчетов значения производной при заданных параметрах СССРВ (рис. 4)

Приравняем производную к нулю и найдем оптимальное значение λ с помощью встроенной функции $\text{root}(f(x), x)$:

$$\begin{aligned}
 \text{root}(p(\lambda), \lambda) &= 4,669 \cdot 10^{-6}, \\
 \text{root}(p1(\lambda), \lambda) &= 4,691 \cdot 10^{-6}, \\
 \text{root}(p2(\lambda), \lambda) &= 4,902 \cdot 10^{-6}.
 \end{aligned}$$

Теперь, зная оптимальное значение λ , вычислим максимальное значение вероятности безотказной работы на протяжении десяти тысяч часов при заданных параметрах (см. табл.).

Отсюда можно сделать вывод, что при $n = 200$, $m = 8$, $r = 4$ максимальное значение вероятности безотказной работы ПЛИС-ФПТ достигается:

если $\lambda_{\text{ПВ}} = 10^{-11}$, $\lambda_{\text{В}} = 10^{-11}$ при $\lambda = 4,669 \cdot 10^{-6}$,
 если $\lambda_{\text{ПВ}} = 10^{-7}$, $\lambda_{\text{В}} = 10^{-7}$ при $\lambda = 4,691 \cdot 10^{-6}$,
 если $\lambda_{\text{ПВ}} = 10^{-5}$, $\lambda_{\text{В}} = 10^{-5}$ при $\lambda = 4,902 \cdot 10^{-6}$.

Из соотношения (19) можно определить при заданной $\lambda_{\text{В}}$ возможность выигрыша. Преобразуем (19) для определения $\lambda_{\text{В}}$:

$$\begin{aligned}
 \delta P_{\text{тр}} + & \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i \lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \right] e^{-\lambda_{\text{ПВ}} t} = \\
 = & \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i \lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} + \right. \\
 & \left. + \sum_{j=1}^{\left[\frac{m}{r} \right]} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j) \lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m-j} \right] e^{-(\lambda_{\text{ПВ}} + \lambda_{\text{В}}) t}. \quad (21)
 \end{aligned}$$

Максимальное значение вероятности безотказной работы

λ	$\delta P_{\text{тр}}$
$4,669 \cdot 10^{-6}$	0,259
$4,691 \cdot 10^{-6}$	0,25
$4,902 \cdot 10^{-6}$	0,181

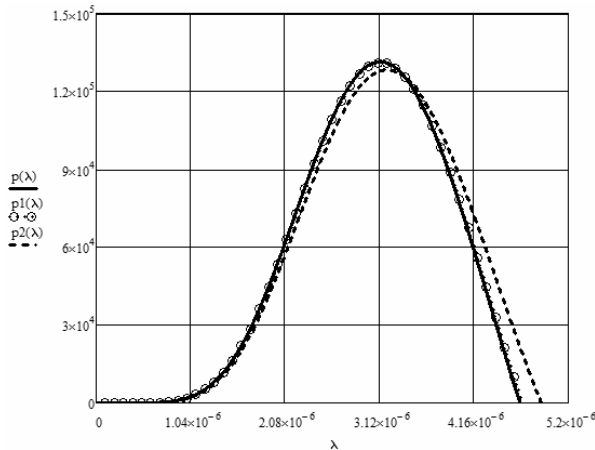


Рис. 5. График производной при $n = 200$, $m = 8$, $r = 4$
 $p(\lambda)$ – значение $\delta P'_{\text{тр}}$ при $n = 200$, $m = 8$, $r = 4$, $t = 10000$,
 $\lambda_{\text{ny}} = 10^{-11}$, $\lambda_n = 10^{-11}$; $p1(\lambda)$ – значение $\delta P'_{\text{тр}}$ при $n = 200$, $m = 8$,
 $r = 4$, $t = 10000$, $\lambda_{\text{ny}} = 10^{-7}$, $\lambda_n = 10^{-7}$; $p2(\lambda)$ – значение $\delta P'_{\text{тр}}$
при $n = 200$, $m = 8$, $r = 4$, $t = 1000$, $\lambda_{\text{ny}} = 10^{-5}$, $\lambda_n = 10^{-5}$

Выполним деление левой части выражения (21) на выражение правой части без члена, учитывающего λ_n :

$$\delta P_{\text{тр}} + \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \right] e^{-\lambda_{\text{ny}} t} /$$

$$/ \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} + \right. \quad (22)$$

$$\left. + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \right] e^{-\lambda_{\text{ny}} t} = e^{-\lambda_n t}.$$

Тогда

$$-\frac{1}{t} \ln \{ \delta P_{\text{тр}} + \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} \right] e^{-\lambda_{\text{ny}} t} /$$

$$/ \left[\sum_{i=n}^{n+m} C_{n+m}^i \cdot e^{-i\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})^{n+m-i} + \right. \quad (23)$$

$$\left. + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{m}{r} \right\rfloor} C_{n+m}^{m+j} \cdot e^{-(n-j)\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m+j} \right] e^{-\lambda_{\text{ny}} t} \} = \lambda_n.$$

Предложена методика восстановления логики – КЛБ ПЛИС путем применения пассивно-активной отказоустойчивости с использованием скользящего резервирования с восстановлением элементов из отказавших ФПТ элементов, но сохранивших базис – таких элементов необходимо не более четырех. Скользящее резервирование позволяет в ряде случаев увеличить вероятность безотказной работы любых ПЛИС FPGA на 15–20 % от максимально возможного выигрыша по сравнению с классическим скользящим резервированием. Целесообразны дальнейшие исследования с целью поиска оптимальных вариантов пассивно-активной отказоустойчивой ПЛИС – ФПТ, например, с помощью процедуры наискорейшего спуска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Е.П. Угрюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 800 с.
2. Achronix выпустит 22-нм ПЛИС на фабриках Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/pechat/59266/>
3. Yervant, Z. Gest editors' introduction: Design for Yield and reliability [Text] / Z. Yervant, G. Dmytris // IEEE Design & Test of Computers. – 2004. – P. 177–182.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 42 с.
5. Иыуду, К. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем [Текст] / К. Иыуду. – М.: Высш. шк., 1989. – 219 с.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. [Текст] / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.)

[и др.]. – Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности; Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.

7. Основи надійності цифрових систем. Підручник [Текст] / За ред. Харченка В.С., Жихарева В.Я. – Харків: Міністерство освіти та науки, 2004. – 572 с.

8. Тюрин, С.Ф. Функционально-полные толерантные булевы функции [Текст] / С.Ф. Тюрин // Наука и технология в России. – 1998. – № 4. – С. 7–10.

9. Тюрин, С.Ф. Проблема сохранения функциональной полноты булевых функций при «отказах» аргументов [Текст] / С.Ф. Тюрин // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9. – С. 176–186.

10. Тюрин, С.Ф. Функционально-полный толерантный элемент. [Текст] / С.Ф. Тюрин, О.А. Громов, А.В. Греков // Патент РФ № 2449469, опубл. 27.04.2012 Бюл. № 12.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА MUSIC В ПЕЛЕНГАТОРАХ С КОЛЬЦЕВЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ ИЗ НАПРАВЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При разработке антенных элементов для антенных решеток радиопеленгаторов используются системы электродинамического проектирования с целью обеспечения требуемых характеристик в рабочем диапазоне частот. При этом в результате моделирования одними из выходных параметров являются такие, как коэффициент усиления и диаграмма направленности. При разработке антенн следует учитывать, что в качестве задаваемых требуемых параметров используются характеристики радиопеленгатора, а не собственно антенны или антенной системы. Поэтому при разработке антенной системы для радиопеленгатора следует учитывать, что оптимизация антенной системы по критериям, не связанным с пеленгационными характеристиками, может привести к обратному (отрицательному) результату.

В литературе известны работы по применению алгоритма MUSIC к кольцевой антенной решетке [1] и разработке антенных решеток из направленных элементов [2]. Отличие данной работы заключается в определении оптимальных характеристик антенных элементов для пеленгатора, рассчитывающего пеленг по алгоритму MUSIC.

В настоящей статье проведено исследование влияния электродинамических характеристик антенных элементов, находящихся в составе кольцевой антенной решетки радиопеленгатора при использовании алгоритма пеленгации MUSIC (Multiple Signal Classification), на основной задаваемый параметр – точность пеленгования.

Постановка задачи. Пусть на N -элементную кольцевую антенную решетку, состоящую из точечных направленных антенных элементов, поступает сигнал (узкополосный в пространственно-временном смысле) от источника радиоизлучения, находящегося в дальней зоне излучения. Тогда

сигнал, принимаемый n -м антенным элементом может быть представлен в следующем виде:

$$x_n(t) = S(t)F_n(\varphi)e^{j\psi_n(\varphi)} + n_n(t), \quad (1)$$

где $S(t)$ – сигнал от источника радиоизлучения; $F_n(\varphi)$ – амплитудно-фазовая (комплексная) диаграмма направленности n -го антенного элемента; φ – азимут приходящей электромагнитной волны; $e^{j\psi_n(\varphi)}$ – определяет фазовый набег сигнала на n -й антенный элемент с учетом геометрии антенной решетки и фазовой диаграммы направленности антенного элемента; $n_n(t)$ – аддитивный гауссовский шум.

Введем следующие обозначения: $\mathbf{X}_k = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ – вектор отсчетов (снимок) сигнала, снимаемый с антенных элементов в k -й момент времени; T – символ транспонирования; $\mathbf{e}(\varphi) = [F_1(\varphi)e^{j\psi_1(\varphi)}, F_2(\varphi)e^{j\psi_2(\varphi)}, \dots, F_N(\varphi)e^{j\psi_N(\varphi)}]^T$ – управляющий вектор, элементы которого определяются фазовыми набегам электромагнитной волны, приходящей с азимута φ на n -й антенный элемент, и комплексными диаграммами направленности каждого антенного элемента.

Для кольцевой антенной решетки элементы управляющего вектора будут определяться следующим образом:

$$e_n(\varphi) = F_n(\varphi) \exp \left(j \frac{2\pi}{\lambda} (x_n \cos(\varphi) + y_n \sin(\varphi)) \right). \quad (2)$$

В полярной системе координат управляющий вектор запишется так:

$$e_n(\varphi) = F_n(\varphi) \exp \left(j \pi d \cos \left(\frac{2\pi n}{N} - \varphi \right) \right), \quad (3)$$

где d – диаметр кольцевой антенной решетки в длинах волн.

При моделировании процесса пеленгации с помощью алгоритма MUSIC необходимо задать комплексные диаграммы направленности всех

антенных элементов для определения управляющего вектора. Зададим форму диаграмм направленности элементов кольцевой решетки в виде функции $\sin(x)/x$, т. к. это наиболее часто встречающаяся форма диаграмм направленности антенн. Пусть каждый элемент в кольцевой антенной решетке относительно своего фазового центра имеет постоянную фазу сигнала вне зависимости от угла прихода сигнала. Фаза принятого сигнала антенным элементом в составе кольцевой антенной решетки определяется только расположением антенного элемента. Для моделирования процесса пеленгации найдем амплитудные диаграммы направленности антенных элементов следующим образом:

$$F_n(\varphi) = \begin{cases} \frac{\sin\left(\alpha\left(\varphi - \frac{2\pi n}{N}\right)\right)}{\alpha\left(\varphi - \frac{2\pi n}{N}\right)} & |\varphi| \leq \frac{\pi}{\alpha}, \\ 0 & |\varphi| > \frac{\pi}{\alpha} \end{cases}, \quad (4)$$

где α – параметр, определяющий ширину диаграммы направленности.

Для определения оптимальной ширины диаграммы направленности элемента при пеленгации с помощью алгоритма MUSIC необходимо проводить оценку среднеквадратического отклонения пеленга при моделировании процесса пеленгации с помощью заданных диаграмм направленности. Для моделирования процесса пеленгации следует задать коэффициент усиления антенн. Существует связь между коэффициентом направленного действия D и шириной диаграммы направленности антенны [3]:

$$D \approx \frac{34000}{\vartheta_1 - \vartheta_2}, \quad (5)$$

где ϑ_1 – ширина диаграммы направленности по азимуту; ϑ_2 – ширина диаграммы направленности по углу места.

Цель данной статьи – определение минимального значения среднеквадратического отклонения пеленга при оценке угла прихода сигнала алгоритмом MUSIC, изменяя ширину диаграмм направленности антенных элементов в составе кольцевой антенной решетки.

Применение алгоритма MUSIC в кольцевой антенной решетке из направленных элементов. Для реализации алгоритма в первую очередь необходимо измерить амплитудно-фазовое

распределение поля на всех антенных элементах. Измеренные данные составляют комплексный вектор-столбец размером N , что соответствует количеству используемых для пеленгации элементов решетки. Если пеленгуемый сигнал присутствует достаточное время, то целесообразно для повышения точности пеленгования использовать несколько отсчетов K . Повторяя измерения комплексных отсчетов с элементов кольцевой антенной решетки, заполняется матрица X размерами $N \times K$. Корреляционная матрица R определяется по формуле:

$$R = X \cdot X^H, \quad (6)$$

где H – символ эрмитова сопряжения.

Затем определяются собственные числа $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ и соответствующие им собственные векторы $v_1, v_2, \dots, v_N$ корреляционной матрицы R . Собственные числа упорядочим по убыванию так, чтобы $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$. Заметим, что все собственные векторы ортогональны, то есть $v_i \cdot v_k^H = 0$ при $i \neq k$ и $v_i \cdot v_i^H = 1$. Далее необходимо оценить количество принимаемых сигналов, например, по критерию Акайке [4], используя рассчитанные собственные числа:

$$AIC(p) = -K(N-p) \ln \left(\frac{\left[\prod_{n=p+1}^N \lambda_n \right]^{\frac{1}{N-p}}}{\frac{1}{N-p} \sum_{n=p+1}^N \lambda_n} \right) + p(2N-p), \quad (7)$$

где K – длина выборки; N – количество элементов антенной решетки; λ_n – соответствующие собственные числа автокорреляционной матрицы R .

Число p , при котором значение функции AIC минимально, является оценкой количества падающих электромагнитных волн на кольцевую антенную решетку.

Обозначим количество принимаемых сигналов M . Выберем M наибольших собственных чисел и соответствующих им собственных векторов. Эти M собственных векторов образуют сигнальное подпространство, а остальные $N - M$ собственных векторов образуют шумовое подпространство [5]. Сигнальное и шумовое подпространства ортогональны. Все сигналы, принимаемые антенной решеткой, представимы в виде разложения по собственным векторам сигнального подпространства. Сформируем шумовую



матрицу $\mathbf{Q}_N$ из шумовых собственных векторов столбцов соответственно размерами $(N \times N - M)$. Далее необходимо ввести сканирующий вектор $\mathbf{a}(\theta)$ как функцию от угла падения волны:

$$\mathbf{a}_n(\theta) = F_n(\theta) \exp \left(j\pi d \cos \left(\frac{2\pi n}{N} - \theta \right) \right), \quad (8)$$

где $F_n(\theta)$ – комплексная диаграмма направленности n -го элемента кольцевой антенной решетки; d – диаметр кольцевой антенной решетки в длинах волн (диаметр кольца из точек, образованных фазовыми центрами антенных элементов); $n = 1, \dots, N$.

Элементы комплексного вектора $\mathbf{a}(\theta)$ соответствуют амплитудно-фазовому распределению поля на соответствующих антенных элементах кольцевой антенной решетки при условии, что сигнал приходит с направления θ по азимуту. Управляющий вектор может быть рассчитан, либо измерен при калибровке антенной решетки с помощью источника излучения с известным расположением относительно антенной решетки.

Следующим шагом алгоритма MUSIC является расчет пеленгационной характеристики по формуле:

$$P_{\text{MUSIC}}(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}(\theta)^H \cdot \mathbf{Q}_N \cdot \mathbf{Q}_N^H \cdot \mathbf{a}(\theta)}. \quad (9)$$

Когда угол θ становится равным углу падения сигнала, то знаменатель начинает стремиться к нулю, т. к. вектор-столбец соответствует сигнальному подпространству, а матрица $\mathbf{Q}_N$ соответствует подпространству шума. Поэтому значение пеленгационной характеристики имеет максимум в данном направлении.

Заключительным этапом пеленгационного процесса по алгоритму MUSIC является нахождение M максимумов пеленгационной характеристики. Углы $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$, при которых наблюдаются локальные максимумы пеленгационной характеристики, соответствуют оценкам направлений азимута сигналов, падающих на кольцевую антенную решетку. Если априорно известен примерный сектор углов, в котором находится интересующий сигнал, то можно сократить диапазон углов для поиска максимумов пеленгационной характеристики. Также существуют способы быстрого поиска максимумов функции, ускоряющие процесс определения пеленга [6].

Определение оптимальной ширины диаграммы направленности. Для определения оптимальной ширины диаграммы направлен-

ности антенных элементов кольцевой антенной решетки необходимо провести моделирование процесса пеленгации, изменяя ширины диаграмм направленности. При этом основным критерием оптимальности ширины диаграммы направленности является среднеквадратическое отклонение пеленга, но при этом математическое ожидание (отклонение) пеленга должно стремиться к нулю. Выбраны следующие условия для всех моделируемых случаев: количество отсчетов $K = 10$, соотношение сигнал/шум 10 дБ, диаметр кольцевой антенной решетки – половина длины волны. Наибольшая точность пеленгации наблюдается в равносигнальной области между главными лепестками диаграмм направленности рядом стоящих антенных элементов. Коэффициент усиления антенных элементов определялся в соответствии с шириной диаграммы направленности согласно формуле (5). В данных условиях проведено моделирование пеленгации с использованием кольцевых антенных решеток с различным количеством элементов. Получены графики зависимости среднеквадратического отклонения пеленга и математического ожидания (отклонения) пеленга (m_1) от ширины диаграммы направленности антенных элементов. Полученные зависимости представлены на рис. 1.

Из приведенных графиков видно, что использование антенных элементов с узкими диаграммами направленности приводит к большим ошибкам оценки пеленга. При увеличении ширины диаграммы направленности антенных элементов точность пеленгации также уменьшается из-за уменьшения коэффициента усиления антенн. Следует отметить, что использование слишком узких диаграмм направленности приводит к значительным ошибкам и неработоспособности пеленгатора. Увеличение ширины диаграммы направленности приводит к незначительному увеличению среднеквадратического отклонения пеленга. Следовательно, минимальная ширина диаграммы направленности, при которой отклонение пеленга все еще стремится к нулю, является оптимальной. При разработке антенных элементов необходимо, чтобы во всем рабочем диапазоне частот ширина диаграммы направленности была не ниже оптимальной.

Для сравнения полученных результатов с кольцевой решеткой из ненаправленных элементов проведено моделирование решетки из вибраторных антенн с коэффициентом усиления

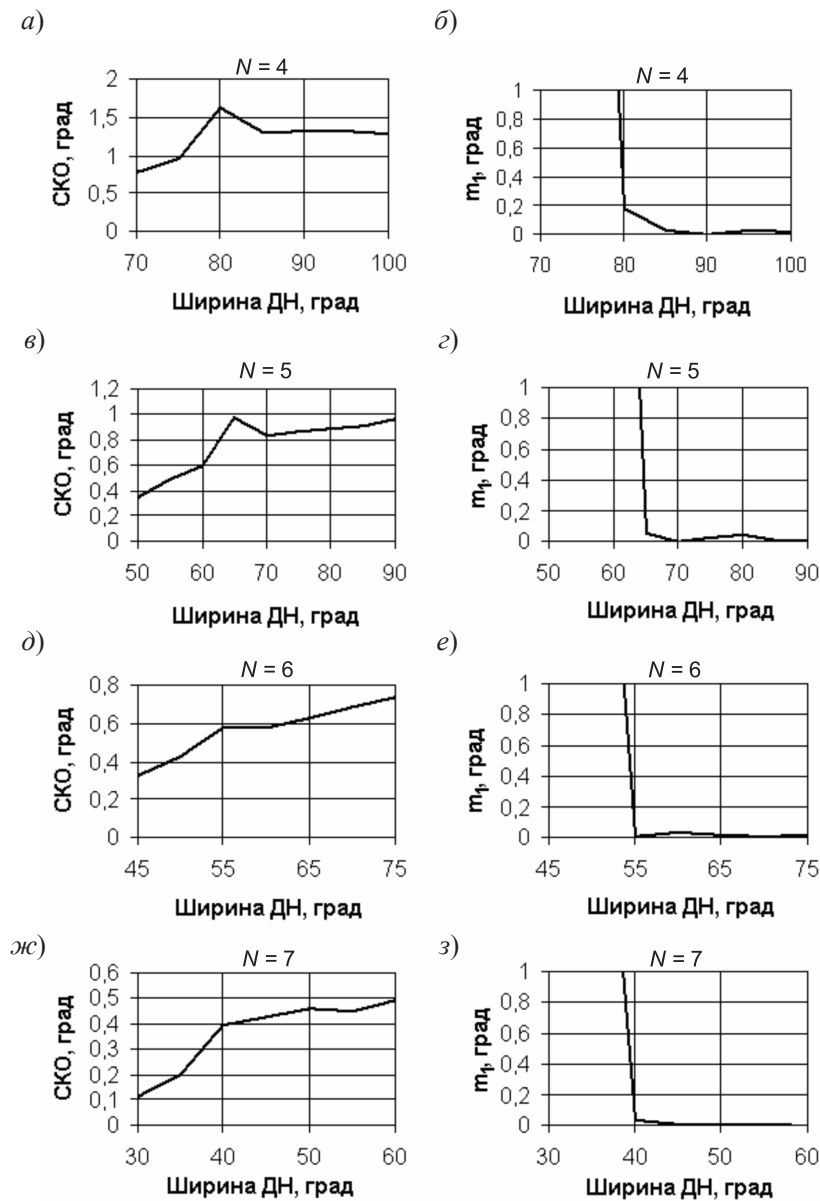


Рис. 1. Зависимости СКО и отклонение пеленга (m_p) от ширины диаграммы направленности при различных количествах антенных элементов

антенн 1,5 в аналогичных условиях с разным количеством антенных элементов. Полученные данные сведены в таблицу.

В таблице представлены среднеквадратические отклонения пеленга при использовании кольцевой антенной решетки из направленных элементов с

оптимальными ширинами диаграмм направленности при различных количествах антенных элементов в решетке, а также результаты моделирования антенной решетки из ненаправленных элементов.

Из таблицы видно, что при увеличении количества антенных элементов оптимальная

Результаты численных экспериментов

Количество элементов	4	5	6	7	8	9
Оптимальная ширина ДН	85°	70°	55°	50°	45°	40°
СКО (направл.)	1,29°	0,84°	0,58°	0,44°	0,33°	0,27°
СКО (ненаправл.)	1,32°	1,15°	1,05°	0,97°	0,91°	0,87°

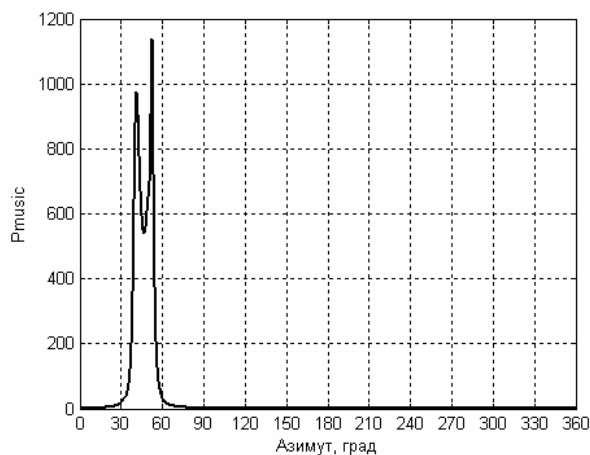


Рис. 2. Пеленгационная характеристика

ширина диаграмм направленности уменьшается, при этом среднеквадратическое отклонение пеленга при использовании кольцевой антенной решетки из направленных элементов также уменьшается. То есть увеличение количества антенных элементов приводит к увеличению точности пеленгации, но при большом количестве антенных элементов прирост точности становится незначительным. При малом количестве антенных элементов в решетке среднеквадратическое отклонение пеленга для решеток из направленных и ненаправленных антенных элементов примерно равны. Но при увеличении количества антенных элементов точность пеленгации с помощью решетки из направленных элементов выше, что делает использование решетки из направленных элементов предпочтительнее при пеленгации рассматриваемым алгоритмом пеленгации.

Одно из преимуществ алгоритма пеленгации MUSIC – возможность работы в сложной электро-

магнитной обстановке с большим количеством сигналов. В данной статье рассмотрен случай падения двух сигналов на кольцевую антенную решетку из восьми элементов с оптимальными диаграммами направленности. Проведено моделирование падения сигналов на одной частоте с направлений 40° и 52° по азимуту в условиях, аналогичных предыдущим исследованиям. В результате обработки данных по алгоритму MUSIC получена пеленгационная характеристика, представленная на рис. 2.

Максимумы пеленгационной характеристики находятся на углах 41° и 52° , что и соответствует оценкам пеленга. Алгоритм пеленгации MUSIC позволяет пеленговать сигналы, расположенные по угловому расстоянию меньшему, чем ширины диаграмм направленности антенных элементов. В кольцевой антенной решетке из направленных элементов так же, как и в решетке из ненаправленных антенных элементов, наблюдается смещение пеленгов в случае пеленгации двух рядом расположенных сигналов, при этом пеленги смещаются в направлении друг к другу.

В статье исследована кольцевая антенная решетка из направленных антенных элементов для радиопеленгатора. Для обработки сигналов, полученных с антенной решетки, применен алгоритм пеленгации MUSIC с использованием информации об амплитуде и фазе сигналов. Определены оптимальные характеристики антенных элементов решетки при использовании алгоритма пеленгации MUSIC. Оценена точность пеленгации при использовании оптимальных диаграмм направленности. Определена возможность пеленгации нескольких сигналов антенной решеткой из направленных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечаев, Ю.Б. Сверхразрешающие алгоритмы в задаче азимутальной радиопеленгации с использованием кольцевых антенных решеток [Текст] / Ю.Б. Нечаев, С.А. Зотов, Е.С. Макаров // Антенны. – 2007. – № 7. – С. 29–34.
2. Ашихмин, А.В. Амплитудно-фазовое пеленгование источников СВЧ-радиоизлучения с произвольной поляризацией с помощью кольцевой антенной решетки из ТЕМ-рупоров и антенн Вивальди [Текст] / А.В. Ашихмин, Ю.Г. Пастернак, И.В. Попов [и др.] // Антенны. – 2008. – № 3. – С. 44–49.
3. Фрадин, А.З. Измерение параметров антенно-фидерных устройств [Текст] / А.З. Фрадин, Е.В. Рыж-

ков. – М.: Гос. изд-во лит. по вопросам связи и радио, 1962. – 316 с.

4. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С.Л. Марпл-мл.; Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

5. Зотов, С.А. Методы сверхразрешения в задачах радиопеленгации [Текст] / С.А. Зотов // Информационные процессы и технологии в обществе и экономике. – 2006. – № 3. – С. 12–26.

6. Нечаев, Ю.Б. Быстрый метод оценки числа сигналов при наличии гауссовского и негауссовского шумов [Текст] / Ю.Б. Нечаев, С.А. Зотов // Антенны. – 2008. – № 7-8. – С. 104–110.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С «ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ»

При моделировании сложных СВЧ-устройств или системном проектировании, как правило, используются функциональные (поведенческие) модели. Данные модели позволяют описывать устройство в виде «черного ящика» и строятся на основе измеренных входного и выходного сигналов, связанных определенными математическими функциями. При этом тип математических функций выбирается не на основе анализа физических процессов, происходящих при работе устройства, а из условий быстродействия и требуемой точности моделирования. Обобщая классификации функциональных моделей усилителей мощности, принятых в зарубежной и отечественной литературе [1, с. 10; 2, с. 32], выделим два класса функциональных моделей: модель без «эффекта памяти» и модели с «эффектом памяти». Так называемый «эффект памяти» обусловлен инерционностью элементов схемы (индуктивностей, конденсаторов и т. д.), напряжения и токи которых зависят от значений в предыдущие моменты времени. В общем случае, схемы, описываемые моделями без «эффекта памяти», не должны включать элементы, способные накапливать электромагнитную энергию. Поскольку усилители мощности содержат такие элементы, то модели без «эффекта памяти» могут использоваться для моделирования усилителей узкополосных сигналов, т. е. сигналов, несущая частота которых во много раз больше полосы информационного сигнала. Модели усилителя без «эффекта памяти» описываются, например, полиномом вида [3]:

$$\dot{y}_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_{2n+1,k} \dot{x}_k^{2n+1},$$

где $\dot{y}_k$ – комплексные отсчеты выходного сигнала; x_k – комплексные отсчеты входного сигнала; $a_{2n+1,k}$ – комплексные коэффициенты.

В системах мобильной связи, использующих широкополосные сигналы, учет «эффектов памяти» играет важную роль, поскольку в инерционных системах появляется взаимодействие между текущими и задержанными отсчетами (выборками) сигналов. Среди моделей с «эффектом памяти» выделяют: модель на

искусственных нейронных сетях [4], нелинейную модель авторегрессии-скользящего среднего [5] и модель Вольтерра [6].

Модель Вольтерра получила наибольшее распространение, поскольку позволяет обеспечить высокую точность при минимальном использовании памяти устройства. Однако вычислительная сложность при использовании данной модели увеличивается экспоненциально с ростом порядка нелинейности, что является основным недостатком. Частный случай моделей Вольтерра – полиномиальные модели с «эффектом памяти», обеспечивающие приемлемую точность при меньшей вычислительной сложности.

В настоящей статье представлена методика построения и проведен сопоставительный анализ двух типов полиномиальных моделей с «эффектом памяти»: с равномерной и с неравномерной выборкой элементов памяти.

Полиномиальные модели с равномерной выборкой элементов памяти

Выходной сигнал полиномиальной модели с равномерной выборкой элементов памяти записывается как

$$\begin{aligned} V_{\text{out}}(s) &= \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{kq} V_{\text{in}}(s-q) |V_{\text{in}}(s-q)|^{2(k-1)} = \\ &= \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{kq} F_{kq}(s-q) = \\ &= \sum_{q=0}^Q F_q(s-q) = F_0 + F_1 + \dots + F_Q, \end{aligned} \quad (1)$$

где a_{kq} – комплексные коэффициенты полинома; K – порядок полинома; $V_{\text{in}}(s)$ и $V_{\text{out}}(s)$ – измеренные значения s -го отсчета входного и выходного сигналов усилителя; Q – количество элементов памяти.

На рис. 1 показана блок-схема полиномиальной модели с равномерной выборкой элементов памяти, символом z^{-1} обозначены элементы задержки.

Представим выражение (1) как

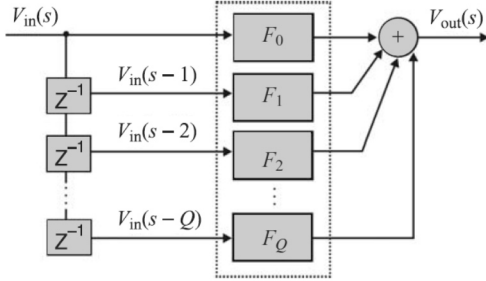


Рис. 1. Блок-схема полиномиальной модели с равномерной выборкой элементов памяти

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}}(s) &= \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{kq} F_{kq}(s-q) = \\
 &= \sum_{k=1}^K a_{k0} F_{k0}(s) + \dots + \sum_{k=1}^K a_{kQ} F_{kQ}(s-Q) = \\
 &= a_{10} F_{10}(s) + \dots + a_{K0} F_{K0}(s) + \\
 &+ a_{11} F_{11}(s-1) + \dots + a_{K1} F_{K1}(s-1) + \\
 &+ a_{1Q} F_{1Q}(s-Q) + \dots + a_{KQ} F_{KQ}(s-Q).
 \end{aligned}$$

Данное представление позволяет записать (1) в матричном виде как

$$\mathbb{V}_{\text{out}} = \mathbb{F} \mathbb{A},$$

где вектора $\mathbb{V}_{\text{out}}$, $\mathbb{A}$ и матрица $\mathbb{F}$ определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \mathbb{V}_{\text{out}} &= [V_{\text{out}}(0), V_{\text{out}}(1), \dots, V_{\text{out}}(S-1)]^T, \\
 \mathbb{A} &= [a_{10}, \dots, a_{K0}, a_{11}, \dots, a_{K1}, a_{1Q}, \dots, a_{KQ}]^T, \\
 \mathbb{F} &= [F_{10}, \dots, F_{K0}, F_{11}, \dots, F_{K1}, F_{1Q}, \dots, F_{KQ}], \\
 F_{kq} &= [F_{kq}(-q), F_{kq}(1-q), \dots, F_{kq}(S-1-q)]^T.
 \end{aligned}$$

Для нахождения комплексных коэффициентов a_{kq} , как правило, используется метод наименьших квадратов [7]. При этом вектор $\mathbb{A}$ определяется следующим образом:

$$\mathbb{A} = (\mathbb{F}^H \mathbb{F})^{-1} \mathbb{F}^H \mathbb{V}_{\text{out}},$$

где оператор $(\cdot)^H$ означает комплексное транспонирование матрицы $\mathbb{F}$.

Полиномиальная модель с неравномерной выборкой элементов памяти

Полиномиальная модель с неравномерной выборкой элементов памяти является развитием модели, описанной в предыдущем разделе. Главное отличие между данными моделями заключается в выборе последовательности отсчетов входного сигнала. В работе [8] показано, что использова-

ние последовательности отсчетов, полученной в результате оптимизации, приводит к повышению точности моделирования. В частности, точнее описывает асимметрию спектра выходного сигнала. В [9] показано, что для вычисления оптимальной неравномерной последовательности отсчетов целесообразно использовать функцию:

$$p_q = \text{floor}(W |\sin \sin q|),$$

где W – максимальное число элементов памяти, по которым производится выборка. Оператор $\text{floor}(X)$ присваивает функции значение, равное ближайшему целому числу, меньшему X .

На рис. 2 представлена блок-схема для полиномиальной модели с неравномерной выборкой элементов памяти.

Для полиномиальной модели с неравномерной выборкой элементов памяти выражение (1) переписывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}}(s) &= \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{kq} V_{\text{in}}(s-p_q) |V_{\text{in}}(s-p_q)|^{2(k-1)} = \\
 &= \sum_{q=0}^Q \sum_{k=1}^K a_{kq} F_{kq}(s-p_q) = \\
 &= \sum_{q=0}^Q F_q(s-p_q) = F_0 + F_1 + \dots + F_Q.
 \end{aligned}$$

Нахождение комплексных коэффициентов a_{kq} осуществляется методом наименьших квадратов.

Результаты моделирования

В качестве входного сигнала модели V_{in} использован сигнал стандарта UMTS с полосой 3,84 МГц. В качестве выходного сигнала модели V_{out} использован сигнал, прошедший через усилитель мощности с раздельным усилением по

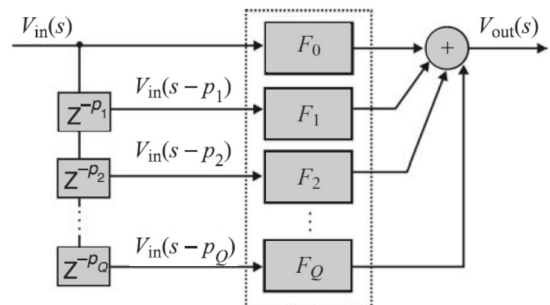


Рис. 2. Блок-схема полиномиальной модели с неравномерной выборкой элементов памяти

схеме Кана, состоящий из идеального усилителя огибающей и ключевого однотранзисторного СВЧ-усилителя класса Е, рассчитанного согласно [10]. Временные зависимости вещественной и мнимой компонент выходных сигналов усилителя мощности и разработанной функциональной

модели V_{mod} с равномерной выборкой элементов памяти приведены на рисунках 3 а и б соответственно.

Для определения точности модели используется нормированная среднеквадратичная ошибка (NMSE):

$$NMSE = 10 \log \log \left(\frac{\sum_{s=1}^S \left| V_{\text{out}}(s) - V_{\text{mod}}(s) - \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S (V_{\text{out}}(s) - V_{\text{mod}}(s)) \right|^2}{\sum_{s=1}^S \left| V_{\text{out}}(s) - \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S (V_{\text{out}}(s)) \right|^2} \right).$$

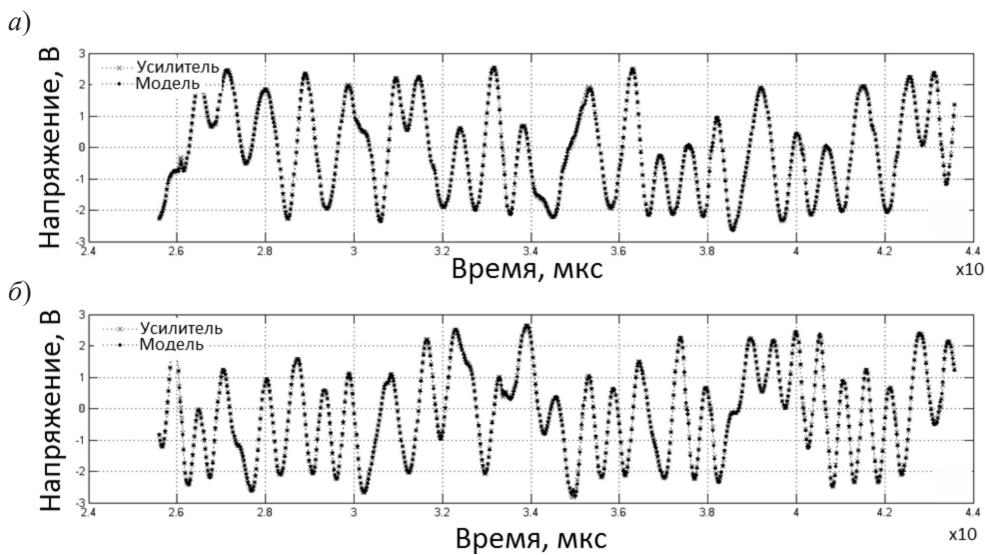


Рис. 3. Временные зависимости выходных сигналов усилителя мощности и функциональной модели с равномерной выборкой элементов памяти
Параметры модели: $K = 9$, $Q = 20$

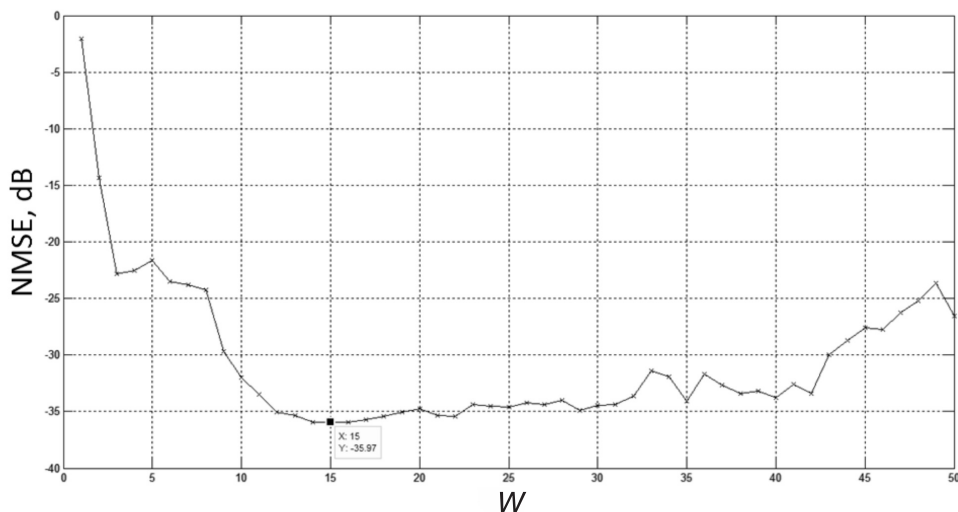


Рис. 4. Зависимость NMSE от максимального количества элементов памяти W функциональной модели с неравномерной выборкой элементов памяти

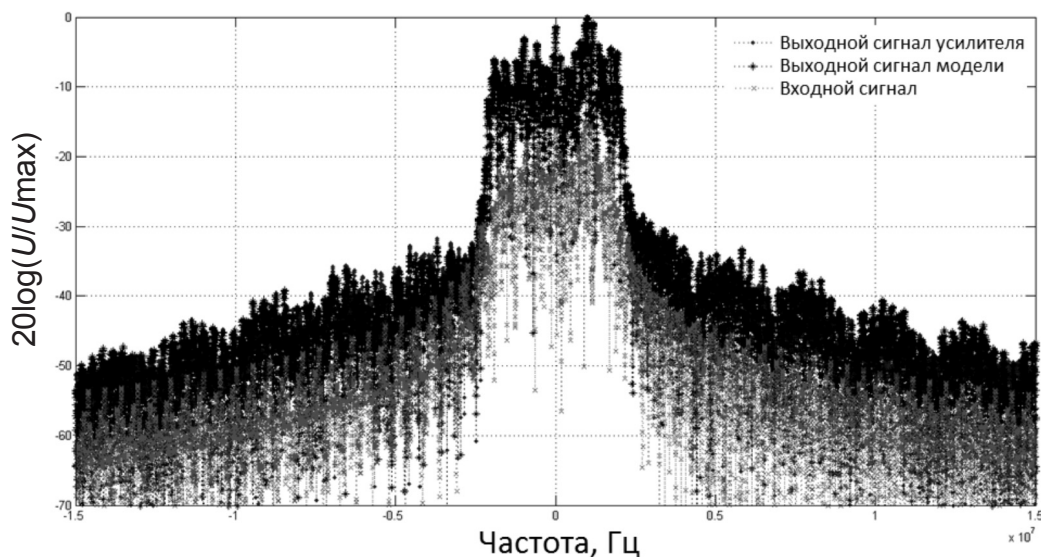


Рис. 5. Спектры сигналов

Для модели с равномерной выборкой элементов памяти ($K = 9$, $Q = 20$) нормированная среднеквадратичная ошибка составила $-32,9$ дБ. Зависимость нормированной среднеквадратичной ошибки от максимального числа элементов памяти W функциональной модели с неравномерной выборкой элементов памяти представлена на рис. 4. Минимальное значение нормированной среднеквадратичной ошибки равно -36 дБ.

Спектры входного, выходного сигналов усилителя и выходного сигнала модели с неравномерной выборкой элементов памяти представлены на рис. 5.

В статье приведены результаты моделиро-

вания полиномиальных моделей с равномерной и неравномерной выборкой элементов памяти и методики их построения. Проведенное моделирование показало, что достаточный для практических приложений уровень точности модели достигается при параметрах модели $K = 9$, $Q = 20$ ($NMSE = -32,9$ дБ). Модель с неравномерной выборкой элементов памяти при тех же параметрах обеспечивает нормированную среднеквадратичную ошибку на 3 дБ ниже по сравнению с моделью с равномерной выборкой элементов памяти.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Schreurs, D.** RF Power Amplifier Behavioral Modelling [Text] / D. Schreurs, M. O'droma, A.A. Goacher [et al.]. –Cambridge University Press, 2009. –269 p.
2. **Богданович, Б.М.** Нелинейные искажения в радио-усилительных элементах [Текст] / Б.М. Богданович. –М.: Связь, 1980. –280 с.
3. **Sanchez, C.** Memory Behavioral Modelling of RF Power Amplifiers [Text] / C. Sanchez, J. de Mingo, P. Garcia [et al.] // Vehicular Technology conf. –11-14 May, 2008. –P. 1954–1958.
4. **Mkadem, F.** Extended Hammerstein Behavioral Model Using Artificial Neural Networks [Text] / F. Mkadem, S. Boumaiza // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. –Apr. 2009. –Vol. 57. –№ 4. –P. 745–751.
5. **Gilabert, P.L.** Multi-Lookup Table FPGA Implementation of an Adaptive Digital Predistorter for Linearizing RF Power Amplifiers With Memory Effects [Text] / P.L. Gilabert, A. Cesari, G. Montoro // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. –Feb. 2008. –Vol. 56. –№ 2. –P. 372–384.
6. **Zhu, A.** An Overview of Volterra Series Based Behavioral Modelling of RF/Microwave Power Amplifiers [Text] / A. Zhu, T.J. Brazil // 2006 Wireless and Microwave Technology conf. –4-5 Dec. 2006. –P. 1–5.
7. **Стрижков В.В.** Методы индуктивного порождения регрессионных моделей [Текст] / В.В. Стрижков // Сообщения по прикладной математике. –М.: Вычислительный центр РАН, 2008. –61 с.
8. **Ku, H.** Behavioral modelling of nonlinear rf power amplifiers considering memory effects [Text] / H. Ku, J.S. Kenney // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. –Dec. 2003. –Vol. 51. –№ 12. –P. 2495–2504.
9. **Ahmed, A.** Power amplifier modeling using me-

mory polynomial with non-uniform delay taps [Text] / A. Ahmed, M.O. Abdalla, E.S. Mengistu [et al.] // European Microwave conf. Dig. –2004. –P. 1457–1460.

10. **Румянцев, И.А.** Методика расчета микро-электронного усилителя мощности класса E с учетом

паразитных параметров элементов [Текст] / И.А. Румянцев, А.С. Коротков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. –2011. –№ 2 (120). –С. 56–63.

МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ ПРОЕКТОМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Структура инновационного многофункционального территориально-распределенного комплекса (МТК) уникальна и зависит от большого числа факторов, влияющих на взаимные связи между участниками проекта. Процесс проектирования является структурой со сложными внутренними связями, которым необходима систематизация. Этот процесс представляет собой дезинтегрированную, либо слабоинтегрированную систему, в которой материальные и информационные потоки неструктурированы.

Сложность проблемы создания системы управления проектированием многофункциональных комплексов (СУ ПМПК) обусловлена необходи-

мостью поиска компромисса между целостностью представления сложного объекта и детализацией описания его компонентов в процессе разработки и реализации проекта.

Эту проблему можно решить с помощью семейства моделей, объединяемых многоуровневой методикой, базирующейся на стратифицированном представлении процесса проектирования.

Страты можно выделять в соответствии с принципом, рассмотренным в [4] (рис. 1), т. е. рассматривая последовательное преобразование представлений о системе в процессе проектирования, выделяя следующие уровни абстрагирования – от замысла (концепции) до материального воплоще-

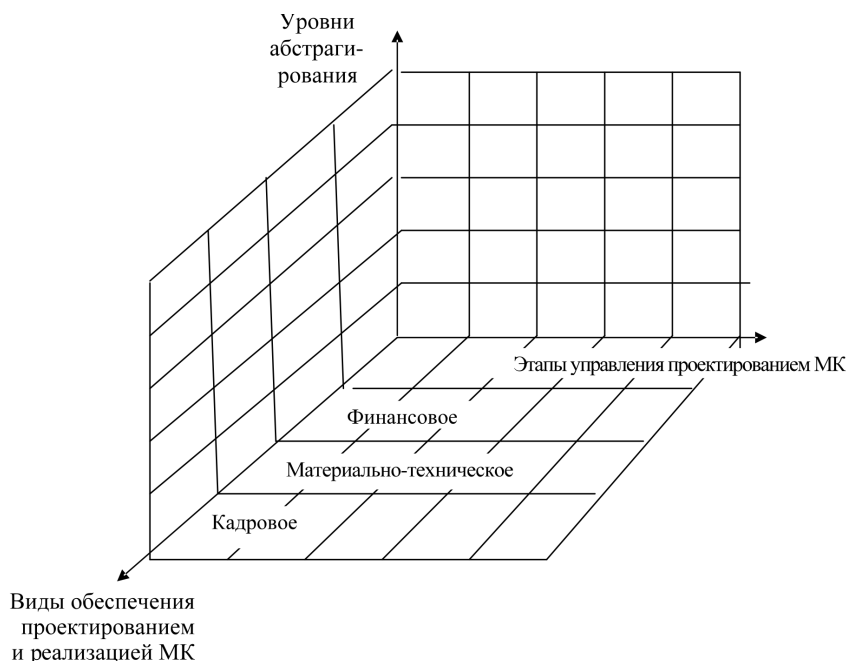


Рис. 1. Трехмерное матричное представление процесса проектирования

Уровни абстрагирования	Этапы управления проектированием и реализацией МК				
	Анализ факторов, влияющих на создание МК	Анализ целей и требований к МК	Разработка конфигурации проекта МК	Планирование и управление проектированием МК	Реализация (внедрение) проекта МК
Концептуальный уровень	Разработка концепции анализа факторов, влияющих на создание и функционирование МК	Разработка принципов анализа целей и функций (ЦФ) системы управления проектированием МК	Выбор подхода и разработка принципов формирования и анализа вариантов конфигурации проектов МК	Разработка принципов формирования и анализа вариантов плана управления проектом МК	Разработка принципов управления реализацией МК, состава НМД и НТД для реализации МК
Уровень научно-исследовательских работ	Разработка моделей анализа факторов среды	Разработка методик формирования и оценки структур ЦФ и разработки требований к МК	Разработка методик формирования и анализа вариантов конфигурации проектов МК	Разработка методик формирования плана управления проектом МК	Разработка методики управления реализацией проекта МК
Уровень конструкторских разработок	Создание автоматизированных диалоговых процедур, программ, тестов и проведение анализа	Разработка (адаптация) АДПАЦФ и АДП для реализации МОСЭ при оценке ЦФ	Разработка конструкторской документации для проекта МК	Разработка автоматизированной поддержки планирования и управления проектированием МК	Разработка автоматизированных баз данных и ИПС для сопровождения проекта МК
Уровень технологической реализации	Разработка информационно-технологических процедур реализации моделей анализа	Разработка информационной технологии использования АДПАЦФ и АДП	Разработка технологии реализации выбранного варианта конфигурации проекта МК	Разработка технологии планирования и управления ходом проектирования МК	Разработка технологии создания СНМОУ реализацией МК
Уровень реализации и создания СНМОУ проектированием МК	НПД и НМД для организации проведения анализа факторов	Методики, инструкции пользователю АДПАЦФ, АДП МОСЭ и др. НМД и НТД	СТП «Разработка конфигурации проекта МК», НМД и НТД для его реализации	СТП, НМД и НТД для организации управления ходом проектирования МК	Методики, стандарты, НМД, НТД и др. нормативные документы для управления МК

Принятые сокращения: МК – многофункциональный комплекс; АДПАЦФ – автоматизированная диалоговая процедура анализа целей и функций; АДП – автоматизированная диалоговая процедура; МОСЭ – методы организации сложных экспертиз; НМД и НТД – нормативно-методические и нормативно-технические документы соответственно; СТП – стандарт управления проектом; АСНМОУ – автоматизированная система нормативно-методического обеспечения управления

ния: *теоретико-методологический* или *концептуальный* (разрабатывается концепция проекта); *научно-исследовательский* (в результате НИР выбираются и предлагаются теоретические и прикладные модели, позволяющие провести необходимый анализ для выполнения последующих проектных работ); *проектный* (завершающийся определением комплекса методов и средств решения проблемы); *инженерно-конструкторский* (для организационных систем этот уровень завершается разработкой структур, программных средств); *технологический* (разработка организационно-технологических процедур подготовки и реализации проектных и управленческих решений, разработка информационной технологии реализации программных продуктов); *материальное воплощение, реализация*

системы (комплекс нормативно-технических и нормативно-методических документов, обеспечивающих реализацию принятых проектных или управленческих решений, т. е. положения, методики, инструкции, стандарты и т. п. нормативные документы).

Двумерное матричное представление методики обеспечивает более полное представление о ходе проектирования и помогает принимать своевременные решения, гарантирующие сокращение сроков, необходимых для реализации проекта. Еще более полное представление о ходе проектирования позволяет получить трехмерное матричное представление процесса проектирования (см. рис. 1), учитывающее необходимые виды обеспечения проектирования и реализации МТК.

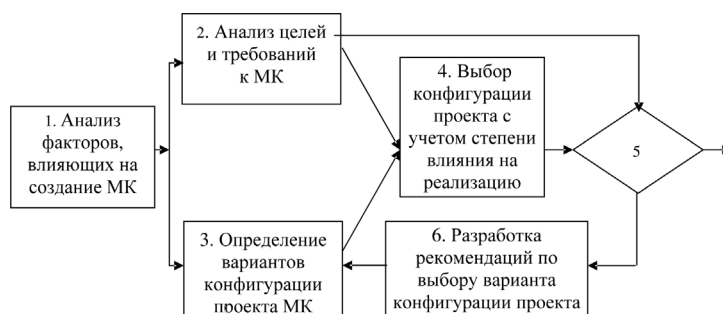


Рис. 2. Структура методики

После выделения страт на каждой из них определяется последовательность этапов и выбираются методы, модели, методики их реализации. При определении этапов, т. е. структуризации СУ ПМТК, могут использоваться методики, базирующиеся на различных концепциях системы [1].

Предлагаемая структура системы управления проектированием многофункционального комплекса делает возможным сохранение целостного представления об МТК и процессе его проектирования. Трехмерное представление обеспечивает полноту определения этапов управления проектированием и реализацией МТК. В то же время для практической реализации такое представление трудновоспринимаемо, и его желательно пред-

ставить в виде последовательности укрупненных этапов, которые затем можно распределить между исполнителями проекта и детализировать с учетом приведенного трехмерного представления на подэтапы. Например, на начальном этапе выбора конфигурации проекта МК за основу можно взять ось «Этапы управления проектированием» и предложить структуру методики, приведенную на рис. 2, а затем при определении подэтапов учесть структуризацию по осям «Уровни абстрагирования» и «Виды обеспечения». При создании информационного пространства за основу может быть принят признак «Уровни абстрагирования».

Взаимодействие между этапами управления проектированием и соответствующими диалого-



Рис. 3. Основные этапы управления проектированием и обеспечивающие их информационные системы

выми процедурами и информационными системами приведено на рис. 3.

Для реализации этапов методики предусмотрено применение методов и моделей системного анализа: методик структуризации целей, методов организации сложных экспертиз, для реализации которых разработаны соответствующие автоматизированные диалоговые процедуры [1, 2]. При анализе целей создания и требований к МТК применяют методики структуризации и целей, разработанные в теории систем и системного анализа, для реализации которых применяют автоматизированные диалоговые процедуры анализа целей и функций (АДП АЦФ). При анализе вариантов конфигурации проектов МТК предлагается применять сетевые модели типа PERT и информационные модели [3], основанные на оценке степени влияния

компоненты МТК на реализацию целей и требований к МТК в анализируемый период развития.

Проектирование и реализация инновационного проекта МТК длительный процесс, при реализации которого может возникнуть потребность в корректировке проекта, затруднения в реализации некоторых принятых проектных решений. Поэтому в управлении проектированием и реализацией МК существенное значение имеет создание информационного пространства, обеспечивающего процесс проектирования. Предлагаемая структура системы управления проектом инновационного многофункционального комплекса позволяет отслеживать возникающие трудности и принимать необходимые решения в процессе разработки и реализации проекта МТК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ: Учебник [Текст] / В.Н. Волкова, А.А. Денисов // Сер. Университеты России. – М.: Изд-во «Юрайт», 2010. – 679 с.

2. Волкова, В.Н. Методы организации сложных экспертиз [Текст] / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 128 с.

3. Денисов, А.А. Современные проблемы системного анализа: Учебник [Текст] / А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 304 с.

4. Черняк, Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой [Текст] / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.

УДК 004.9

Р.Р. Ягудин

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ УПАКОВКИ МНОГОГРАННИКОВ В ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДНУЮ ОБЛАСТЬ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ГОДОГРАФА ВЕКТОР-ФУНКЦИИ ПЛОТНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

Обзор работ по проблеме упаковки/размещения трехмерных геометрических объектов (ГО), востребованной во многих областях человеческой деятельности (компоновка двигателей, упаковка грузов, раскрой кристаллов и т. д.), позволяет сделать вывод о том, что сложность решения рассматриваемой задачи обуславливает отсутствие эффективных алгоритмов ее решения. Большинство работ сводится к размещению простых геометрических фигур (параллелепипедов, цилиндров, сфер и т. д.). Поэтому поиск новых подходов и алгоритмов для решения задачи размещения трехмерных ГО остается актуальным.

Вычислительная сложность решения задачи трехмерной упаковки в общей постановке вынужда-

ет вводить ряд упрощений, порой сильно сужающих область допустимых решений, однако позволяющих находить рациональные упаковки с приемлемыми затратами вычислительных ресурсов.

Одно из самых распространенных упрощений – фиксация ориентации ГО в пространстве или использование набора фиксированных ориентаций каждого из них.

В данной статье обсуждается задача размещения ориентированных произвольных невыпуклых многогранников сложных форм.

Постановка задачи. Задачу плотной упаковки ориентированных ГО в трехмерном пространстве можно свести к решению следующей математической задачи.



Имеется набор $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, $i = \overline{1, n}$ ориентированных трехмерных ГО, каждый из которых имеет свою собственную систему координат.

Область упаковки $Q \subset \mathbb{R}^3$ представляет собой прямоугольный параллелепипед $Q = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq W, 0 \leq z \leq H\}$, у которого L – длина, W – ширина объекта Q рассматриваются как константы, а H – высота объекта Q – как переменная величина.

Введем следующие обозначения: $T_i(\bar{u}_i)$ – смещение объекта T_i на вектор $\bar{u}_i \in \mathbb{R}^3$; $\text{cl } v^i$ – граничные точки объекта T_i ; $\text{int } v^i$ – внутренние точки объекта T_i ; $H(T(U))$ – минимальная высота объекта Q для параметров размещения U объектов множества T .

Упаковкой назовем такой набор параметров размещения $U = \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n\}$ объектов $T(U) = \{T_1(\bar{u}_1), T_2(\bar{u}_2), \dots, T_n(\bar{u}_n)\}$, при котором выполняются следующие условия:

$$\begin{cases} \text{int } v^i(\bar{u}_i) \cap \text{int } v^j(\bar{u}_j) = \emptyset, \forall i = \overline{1, n}, \forall j = \overline{1, n}, i \neq j \\ v^i(\bar{u}_i) \cup Q = v^j(\bar{u}_j), \forall i = \overline{1, n} \end{cases},$$

т. е. никакие два объекта не пересекаются между собой, и все объекты находятся внутри области размещения.

Требуется для ГО T_i , $i = \overline{1, n}$ найти такую упаковку U , чтобы высота области размещения была минимальной: $H(T(U)) \rightarrow \min$.

В изложенной выше постановке рассматриваемая задача относится к классу оптимизационного геометрического моделирования

Подходы к решению. Эту проблему можно рассматривать как задачу математического программирования, определенную на множестве допустимых размещений объектов в заданной области (т. е. размещений, удовлетворяющих ограничениям).

Одним из применяемых способов для решения таких задач является метод покоординатного спуска (метод Гаусса–Зайделя), который приводит к разбиению процесса решения на две части:

- 1) моделирование плотного движения объектов в области размещения – внутренняя часть.
- 2) формирование и изменение последовательности упаковываемых объектов – внешняя (комбинаторная часть).

Основная цель внутренней процедуры – обеспечение условий взаимного непересечения объектов. Для решения этой подзадачи рассмотрим подход, базирующийся на понятии годографа функции плотного размещения ГФПР, разрабо-

танного и развитого до Ф-функций в харьковской школе академика Ю.Г. Стояна [4], являющейся мировым научным лидером в этой области на протяжении многих десятилетий.

Под функцией плотного размещения двух соприкасающихся ГО понимается зависимость расстояния между некоторыми точками (полюсами) этих объектов от их взаимного плотного размещения ($\text{cl } v^i \cap \text{cl } v^j \neq \emptyset$, $\text{int } v^i \cap \text{int } v^j = \emptyset$). Годограф вектора, направленного от одного полюса к другому, при плотном перемещении одного (подвижного) объекта вокруг другого (неподвижного) называется *годографом функции плотного размещения* (ГФПР). Таким образом, для упаковываемого объекта ГФПР представляет собой границу области, запрещенной для размещения этого объекта.

Описание особенностей применяемого метода решения. Пусть дан набор $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\} : T_i \subset \mathbb{R}^3, i = \overline{1, n}$ многогранников, каждый из которых имеет свою собственную систему координат и задается списками вершин и определяемых ими граней. Будем считать, что все точки $v^i = (x^i, y^i, z^i) \in \mathbb{R}^3, i = \overline{1, n}$ каждого из объектов T_i лежат в первом октанте, кроме того, каждый из них касается трех координатных плоскостей $((XOY), (YOZ), (ZOX))$.

В этом случае точка P_i с минимальными координатами $(\underline{x}^i, \underline{y}^i, \underline{z}^i)$ $P_i = (x, y, z) \in v^i : \underline{x}^i \leq x \leq x^i, \underline{y}^i \leq y \leq y^i, \underline{z}^i \leq z \leq z^i$, принадлежащая его параллелепипедной оболочке, совпадает с началом координат.

1. *Моделирование плотного движения объектов в области размещения.* Для обеспечения условий взаимного непересечения объектов между собой и с границей области размещения требуется построить ГФПР G_{ij} всех пар многогранников и для каждого многогранника построить ГФПР G_{Q_i} к внешней области зоны размещения $\mathbb{R}^3 \setminus Q$ (хотя в данном случае эта область является невыпуклой, но ГФПР для нее строится тривиально).

Если рассматривать множество допустимых для размещения объекта точек, то оно представляет собой объединение областей, ограниченных различными ГФПР (в общем случае оно может быть несвязным). Точки локальных экстремумов будут являться вершинами вогнутостей, лежащими на границах этого объединения. Если один из пары объектов невыпуклый, то ГФПР будет также невыпуклым. Значит вершины невыпуклых ГФПР, образующие вогнутости, также являющиеся точками локальных экстремумов. Следовательно, точка занесения при упаковке трехмерных невыпуклых

многогранников может быть найдена в результате рассмотрения следующих случаев (для простоты описания будем считать, что номера объектов соответствуют позициям в приоритетном списке):

1) вершина с минимальными координатами по Oz , Oy и Ox ГФПР размещаемого многогранника T_i к области размещения $Q - G_{Q_i}$ (это соответствует следующему расположению: размещаемый многогранник касается трех граней области размещения);

2) вершина, являющаяся точкой пересечения ребер ГФПР размещаемого многогранника T_i к области размещения $Q - G_{Q_i}$ и любых ГФПР размещаемого многогранника T_j к уже размещенным многогранникам $T_j - G_{ij}, j = 1, i-1$ (размещаемый многогранник касается одного из уже размещенных многогранников и двух смежных граней области размещения);

3) вершина, являющаяся точкой пересечения граней двух различных ГФПР размещаемого многогранника T_i к размещенным многогранникам $T_j, j = 1, i-1 - G_{ij}$ и грани ГФПР размещаемого многогранника T_i к области размещения $Q - G_{Q_i}$ (размещаемый многогранник касается двух других уже размещенных многогранников и грани области размещения);

4) вершина, являющаяся точкой пересечения граней трех различных ГФПР размещаемого многогранника T_i к размещенным многогранникам $T_j, j = 1, i-1 - G_{ij}$ (размещаемый многогранник касается трех других уже размещенных многогранников);

5) вершина вогнутости ГФПР размещаемого многогранника T_i к любому размещенному многограннику $T_j, j = 1, i-1 - G_{ij}$ (размещаемый многогранник касается трех граней уже размещенного многогранника).

В процессе размещения очередного многогранника, проанализировав все пять случаев соприкосновений, получаем набор точек, каждая из которых является точкой локального экстремума. В целях минимизации высоты контейнера из всего полученного множества выбирается точка с минимальной координатой по z , в случае совпадения z – с минимальной суммой координат x и y .

2. *Формирование и изменение последовательности упаковываемых объектов.* В рассматриваемом подходе для формирования упаковок многогранников реализованы следующие способы организации внешней процедуры оптимизации:

первый подходящий с упорядочиванием ППСУ объектов в порядке убывания объемов

(простая схема), а также его улучшение – локальный поиск (циклическая схема);

«жадный» метод с выбором на каждом шаге того объекта, который укладывается лучше других (совмещенная схема);

GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures – Жадные Рандомизированные Адаптивные Процедуры Поиска) является итеративным методом, при каждом запуске которого выполняются две процедуры: генерация начального решения и локальный поиск.

При каждой генерации могут использоваться различные значения параметра случайности α . Этот параметр используется в критерии проверки возможности выбора объекта для размещения:

$$H_i \leq H_{\min} + \alpha(H_{\max} - H_{\min}), \quad (1)$$

где H_i – высота размещения объекта T_i ; $H_{\min} = \min(H_1, H_2, \dots, H_n)$ – минимальные высоты размещения объектов; $H_{\max} = \max(H_1, H_2, \dots, H_n)$ – максимальные высоты размещения объектов.

При $\alpha = 0$ неравенство (1) преобразуется к виду $H_i \leq H_{\max}$, тогда любой объект $T_i, i = 1, n$ может быть выбран для размещения – «случайная» конструкция. При $\alpha = 1$ неравенство (1) преобразуется к виду $H_i \leq H_{\min}$, тогда может быть выбран объект P_i , у которого $H_i = H_{\min}$ – «жадная» конструкция. При любом значении α выбирается случайный объект из множества объектов, удовлетворяющих неравенству (1).

Очевидно, что функция зависимости качества размещения от значения параметра α нелинейная. Поэтому генерацию начального решения следует производить со значениями α из диапазона $[0, 1]$ с некоторым шагом $\Delta\alpha$, начиная с нуля.

Локальный поиск используется для поиска локального оптимума в окрестности каждого из сгенерированных решений, а затем дополнительно применяется к лучшему найденному.

GRASP является комбинацией совмещенной и циклической схем.

При реализации локального поиска для нахождения окрестного решения использован следующий подход: выбирается объект, упаковка которого привела к самому большому увеличению высоты зоны размещения, и меняется порядковыми номерами с любым другим объектом.

Результаты вычислительного эксперимента. Для оценки эффективности алгоритмов использованы тестовые данные из общедоступных источников [5].

В статье Ю.Г. Стояна [5] приведены четыре примера, составленные из невыпуклых много-



Таблица 1

Описание алгоритмов

Название	Описание алгоритма
Стоян 1	Быстрый алгоритм построения начального решения Ю.Г. Стояна
Стоян 2	Метод сужающихся окрестностей Ю.Г. Стояна
Стоян 3	Произвольный поиск Ю.Г. Стояна
ППсУ	Первый подходящий с упорядочиванием по невозрастанию
ППсУ + ЛП	Первый подходящий с упорядочиванием по невозрастанию с локальным поиском
Жадный	Жадный метод
GRASP	Жадные рандомизированные адаптивные процедуры поиска
GRASP + ЛП	Жадные рандомизированные адаптивные процедуры поиска с локальным поиском

гранников десяти типов.

Описание алгоритмов, использованных в вычислительном эксперименте, приведено в табл. 1. Первые три из них предложены Ю.Г. Стояном [5], остальные разработаны в рамках статьи.

Пример 1. Задан набор из 20 многогранников, по два каждого типа. Основание зоны упаковки

имеет ширину 30 см и длину 35 см. Результат – табл. 2, пример 1.

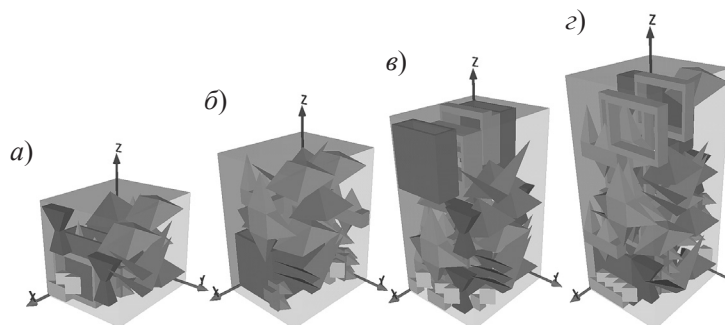
Лучшее решение для примера 1 найдено алгоритмом «GRASP + ЛП», предложенным в данной статье (рис. а).

Пример 2. Задан набор из 30 многогранников, по три каждого типа. Основание зоны упаковки

Таблица 2

Сравнение эффективности алгоритмов

Пример	Название алгоритма	Высота	Заполнение, %	Время, с
1	Стоян 1	43,717	17,71	0,57
	Стоян 2	32	24,2	791,12
	Стоян 3	35,61	21,75	791,12
	ППсУ	45,17	17,14	4,16
	ППсУ + ЛП	33,97	22,8	506,81
	Жадный	51,6	15,01	23,18
	GRASP	40,08	19,32	318,21
	GRASP + ЛП	31,65	24,47	1285,62
2	Стоян 1	58,95	19,7	1,24
	Стоян 2	49	23,71	1979,16
	Стоян 3	49	23,71	1979,16
	ППсУ	59,83	19,42	8,67
	ППсУ + ЛП	50,7	22,91	1119,75
	Жадный	62,65	18,54	62,65
	GRASP	53,35	21,78	736,23
	GRASP + ЛП	47,33	24,54	3184,96
3	Стоян 1	81,37	19,03	2,9
	Стоян 2	63,21	24,5	5300
	Стоян 3	66,28	23,37	5300
	ППсУ	67,25	23,03	18,26
	ППсУ + ЛП	60,47	25,61	3127,4
	Жадный	86,59	17,89	203,32
	GRASP	75,43	20,53	2571,7
	GRASP + ЛП	64,43	24,04	8962
4	Стоян 1	94,56	20,47	4,26
	Стоян 2	78,7	24,6	7406,64
	Стоян 3	81,17	23,85	7406,64
	ППсУ	87,21	22,2	35,01
	ППсУ + ЛП	74,73	25,91	4728,14
	Жадный	104,16	18,59	375,31
	GRASP	91,72	21,11	4102,52
	GRASP + ЛП	78,81	24,57	13315,4



Лучшие варианты размещения многогранников по заданиям из [5]

имеет ширину 30 см и длину 35 см. Результат – табл. 2, пример 2.

Лучшее решение для примера 2 найдено алгоритмом «GRASP + ЛП», предложенным в данной статье (рис. б).

Пример 3. Задан набор из 40 многогранников, по четыре каждого типа. Основание зоны упаковки имеет ширину 30 см и длину 35 см. Результат – табл. 2, пример 3.

Лучшее решение для примера 3 найдено алгоритмом «ППСУ + ЛП», предложенным в данной статье (рис. в).

Пример 4. Задан набор из 50 многогранников, по пять каждого типа. Основание зоны упаковки имеет ширину 30 см и длину 35 см. Результат – табл. 2, пример 4.

Лучшее решение для примера 4 найдено алгоритмом «ППСУ + ЛП», предложенным в данной статье (рис. г).

Результаты проведенных вычислительных экспериментов показали следующее.

- При реализации внутренней (геометрической) процедуры разработанный подход, основанный на анализе точек занесения, позволяет получать 3-D упаковки, превосходящие по своему качеству известные решения в среднем на 4 %.

- Время генерации размещения больше, т. к. в реализации Ю.Г. Стояна на вход алгоритма подаются невыпуклые многогранники, представлен-

ные в виде объединения выпуклых. Таким образом, быстрее решаются задачи построения ГФПР, проверки принадлежности точки многограннику и поиска пересечения многогранников. Однако сама проблема разбиения невыпуклого многогранника на выпуклые в статье Ю.Г. Стояна не рассматривается.

- При реализации внешней (оптимизационной) процедуры «GRASP с ЛП» работает лучше, чем «Первый подходящий с упорядочиванием + ЛП» при малых размерах задачи. Это можно объяснить тем, что начальные решения чаще попадают в окрестности локальных минимумов, позволяя более эффективно производить локальный поиск.

В статье приведен алгоритм решения *NP*-трудной задачи упаковки невыпуклых многогранников в прямоугольный параллелепипед минимальной высоты, позволяющий получать результаты, превосходящие известные методы решения этой проблемы, и базирующийся на построении годографа функции плотного размещения для моделирования условий взаимного непересечения многогранников. В дальнейшем предполагается проведение углубленного вычислительного эксперимента по исследованию эффективности применения различных методов оптимизации при реализации внешней (оптимизационной) процедуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Верхотуров, М.А.** Задача нерегулярного размещения геометрических объектов: современное состояние методов решения [Текст] / М.А. Верхотуров // Ресурсосберегающие технологии. –СПб.: ЦНИИТС, 2001. –С. 33–56.
2. **Стоян, Ю.Г.** Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования [Текст] / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. –Киев: Наук. Думка, 1986. –286 с.
3. **Верхотуров, М.А.** Об одном решении задачи плотной упаковки выпуклых многогранников на основе годографа функции плотного размещения [Текст] /

М.А. Верхотуров, Г.Н. Верхотурова, Р.Р. Ягудин // Информационные системы и технологии. –Орел, 2012. –№ 4. –С. 31–39.

4. **Верхотурова, Г.Н.** Построение годографа функции плотного размещения двух выпуклых многогранников [Текст] / Г.Н. Верхотурова, Р.Р. Ягудин // Принятие решений в условиях неопределенности. –Уфа: Изд-во УГАТУ, 2010. –В7. –С. 150–157.

5. **Stoyan, Y.** Packing of convex polytopes into a parallelepiped [Text] / Y. Stoyan, N. Gil, G. Scheithauer. –Preprint. –Dresden, 2004. –32 p.



Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

УДК 004.652

К.С. Дмитриев

МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ НЕОДНОРОДНЫХ ДАННЫХ

В современных информационных управляющих системах нередко приходится сталкиваться с феноменом неоднородности когерентных данных. *Когерентными* будем называть данные, относящиеся к различным информационным аспектам одного и того же объекта, либо к различным взаимосвязанным объектам в рамках одной предметной области. Неоднородность может носить как синтаксический характер, – данные могут быть описаны различными моделями, например реляционной и сетевой, – так и семантический, когда в пределах одной модели непосредственная корреляция данных затруднительна (это не редкий случай, когда различные информационные модели выражены средствами одной модели данных). Устранению неоднородности данных первого типа посвящены работы [1, 2]. Стоит отметить, что указанным работам свойственен механистический подход к данным и их моделям, основанный на оценке выразительного потенциала множества данных моделей и выбора его верхней границы в качестве эталона для последующей интеграции. Результирующая модель не определена заранее, поэтому при последующем возникновении необходимости интеграции новых моделей данных с результатами предыдущих интеграций может возникнуть потребность повторного решения указанной задачи с самого начала. Семантическая неоднородность данных устраняется инженерными методами (как правило, на основе экспертных оценок), иногда с применением теории нечетких множеств и нечеткой логики [3].

От проблем неоднородности когерентных данных страдают многие системы управления, ориентированные на так называемые «большие» («сложные») управляемые объекты. К таковым, в частности, относятся и системы управления предприятиями электросвязи. В настоящее время системы управления предприятиями связи пред-

ставлены классом OSS/BSS систем, интенсивно развивающимся, и в связи с этим не всегда укладывающимся в рамки отраслевых стандартов [4]. Их назначение состоит в согласованном управлении сетевой инфраструктурой и бизнесом предоставления связи.

Ключевой задачей, от эффективности решения которой зависит успешное выполнение системой всех остальных функций, является обеспечение информационной согласованности моделей физического ресурса и бизнес-процессов. Данная задача носит название *медиации* (*mediation*, от лат. «mediatio» – взаимодействие) [5].

Поясним данный тезис. Нормативной основой управления сетевой инфраструктурой является модель управления ISO/OSI [6, 7], центральное понятие которой – сетевой элемент (СЭ) и характеризующий его набор параметров, выстроенных в иерархическую структуру [8]. Сетевые элементы могут организовываться в кластеры, для управления которыми будут использоваться и иные, не присущие каждому из них в отдельности, параметры, но ничего принципиально нового в модель данных такие манипуляции не вносят. Управление в соответствии с принципами ISO/OSI – это управление динамической системой в фазовом пространстве. В то же время управление предприятием связи в целом базируется на совершенно иных принципах. Модель объекта в данном случае представлена сложной структурой взаимодействующих бизнес-процессов (операционных, стратегического планирования и т. п.). Каждый из процессов имеет собственные показатели, ранжированные по степени важности, а также собственный целевой функционал. Система в этом представлении теряет подобие с операторной моделью, и для поддержки управления в таком случае требуются данные совершенно иного порядка, нежели может предоставить сетевая ин-

фраструктура. Так описывает объект управления модель «ТОМ» [9], являющаяся одним из международных стандартов управления предприятий – операторов связи.

Разработчики большинства систем OSS/BSS для решения задачи медиации вынуждены разрабатывать собственные ad hoc механизмы и информационные модели, полнота и непротиворечивость которых не доказывается формально, а значит, есть повод усомниться и в качестве такого управления.

В свете сказанного выше, крайне актуальной выглядит задача разработки формальных основ для устранения семантической и синтаксической неоднородности когерентных данных. Данная статья посвящена ей.

Разработка модели

В настоящей статье термином «модель» будет обозначаться некоторая универсальная алгебра, на которой помимо операций заданы произвольные отношения между элементами. Следует сразу разграничить два подвида денотата данного понятия. *Моделью данных* определяются синтаксические правила организации данных. *Информационной моделью* определяются семантические связи между ними. Информационная модель находит выражение в модели данных в виде множества схем¹, как правило, непустого. Наиболее удачным примером модели данных можно считать реляционную алгебру [10], универсальность которой позволяет рассматривать все прочие модели данных как подмножества некоторого ее замыкания. Поэтому именно она будет положена в основу разрабатываемой *модели медиации*.

Первая задача, которая ставится перед моделью медиации, – обеспечение синтаксической однородности данных, что достигается отображением исходных схем в реляционную алгебру.

Вторая задача – обеспечение семантической согласованности. Предположим, что синтаксическое согласование уже выполнено и некоторые схемы из разнородных (необязательно реляционных) моделей данных X' и Y' преобразованы в схемы X и Y , принадлежащие реляционной алгебре. Между ними возможны следующие отношения.

- Изоморфизм:

тождество: $X = Y$;

подобие:

$$\exists f : X \rightarrow Y, f^{-1} : Y \rightarrow X$$

$$[\forall x \in X, y \in Y [f^{-1}(f(x)) = x, f(f^{-1}(y)) = y]].$$

- Гомоморфизм:

частичная вложенность: $\exists U \subset Y, W \subset X [U = W];$

приводимость:

$$\exists U \subset Y, W \subset X, f : W \rightarrow U, f^{-1} : U \rightarrow W$$

$$[\forall w \in W, u \in U [f^{-1}(f(w)) = w, f(f^{-1}(u)) = u]].$$

- Отсутствие морфизма.

Примечание. Здесь и далее в формулах с кванторами всеобщности и существования для отделения связанных переменных от выражения, в котором они используются, применяются квадратные скобки.

Последний случай не представляет интереса, т. к. он крайне маловероятен в случае когерентных данных, и для него модель медиации неприемлема. В случае существования изоморфизма можно осуществить непосредственное связывание элементов множеств, например, путем задания функциональных зависимостей между атрибутами отношений [10]. В случае гомоморфизма семантическое связывание возможно только для некоторых подобластей исходных множеств, которые требуется предварительно идентифицировать; в остальном задача подобна установлению изоморфизма.

Сделаем несколько предварительных определений. Пусть дано множество схем данных S , принадлежащих реляционной алгебре R . Следуя нотации реляционной алгебры, отношения e_1 и e_2 со схемами $E1$ и $E2$, принадлежащими схеме данных $S_i \in S$, будем обозначать соответственно $e_1(E1)$ и $e_2(E2)$. Если указание схемы не требуется в данном контексте, обозначения отношений будем сокращать до e_1 и e_2 . Запись $dom(A)$, в реляционной алгебре обозначающую домен (множество значений) атрибута A , будем иногда уточнять: $dom_e(A)$, где e – отношение, на котором рассматривается домен атрибута A . Определим два вспомогательных множества атрибутов для отношений $e_1(E1)$ и $e_2(E2) : F(e_1, e_2) = \{A : [A \in E1 \cap E2] \wedge [dom_{e_1}(A) = dom_{e_2}(A)]\}$, $B(e_1, e_2) = E1 \cap E2 \setminus F(e_1, e_2)$. Множество F содержит общие для e_1 и e_2 атрибуты, домены которых в этих отношениях одинаковы. Множество B содержит общие для e_1 и

¹ Под схемой здесь и далее понимается схема данных. Схемы отношений помечаются явным образом.

e_2 атрибуты с различными доменами. Микрорелевантностью двух отношений $e_1(E1)$ и $e_2(E2)$ называется функция

$$REL'(e_1, e_2) = \frac{\alpha \cdot card F(e_1, e_2) + \beta \cdot card B(e_1, e_2)}{\max\{card E1, card E2\}}, \quad (1)$$

где α и β – некоторые субъективные (например, экспертные) оценки близости одноименных атрибутов различных отношений при идентичных доменах (α) или без оных (β). В ходе моделирования с использованием ЭВМ получены следующие значения коэффициентов, дающие наиболее правдоподобный результат: $\alpha = 1$; $\beta = 0,5$. Уточнение значений данных коэффициентов представляет собой отдельную исследовательскую задачу. Микрорелевантность выражает степень согласованности отношений по атрибутам. Нетрудно видеть, что по определению это величина, нормированная в диапазоне от нуля до единицы и удовлетворяющая неравенству треугольника:

$$REL'(e_1, e_2) + REL'(e_2, e_3) \geq REL'(e_1, e_3).$$

Подобную характеристику можно встретить в работах, касающихся вопросов машинного обучения, например [11]. В модели медиации микрорелевантность служит основой для формирования более информативного показателя – *асимметричной релевантности* схем:

$$\overline{REL}(S_i, S_j) = \frac{\sum_{e_1 \in S_i} \max_{e_2 \in S_j} \{REL'(e_1, e_2)\}}{card S_i}. \quad (2)$$

Это уже комплексная, интермодельная величина, выражающая семантическую близость данной схемы данных к другой. Асимметричная релевантность не коммутативна ($\overline{REL}(S_i, S_j) \neq \overline{REL}(S_j, S_i)$), что сужает ее потенциальную употребимость. Поэтому путем усреднения взаимных асимметричных релевантностей схем данных введем *симметричную релевантность* (или, там где это не затрудняет понимание, просто *релевантность*):

$$REL(S_i, S_j) = \frac{card S_i \cdot \overline{REL}(S_i, S_j) + card S_j \cdot \overline{REL}(S_j, S_i)}{card S_i + card S_j}. \quad (3)$$

В общем случае $REL(S_i, S_j) \leq \overline{REL}(S_i, S_j)$. Она, также как микрорелевантность, нормирована в интервале от нуля до единицы и удовлетворяет неравенству треугольника:

$$REL(S_1, S_2) + REL(S_2, S_3) \geq REL(S_1, S_3). \quad (4)$$

Остановимся подробнее на структуре схемы данных. Наличие критерия релевантности позволяет оценить семантическую близость схем. Необходимо также описать способ, при помощи которого можно повлиять на этот показатель. Наиболее естественным решением выглядит в данном случае группировка отношений по величине взаимной релевантности с установлением порога, например, по среднему значению взаимной релевантности отношений в схеме. Существует возможность подобрать такое пороговое значение, чтобы каждое отношение состояло не более чем в одной группе, соответственно, группы не имели бы взаимных пересечений. Таким способом можно определить в схеме данных математическое отношение эквивалентности. Классы эквивалентности в таком случае будут представлять некие обобщенные реляционные отношения. Рассмотрим операцию *декомпозиции* $DEC: S \rightarrow S$, заданную для каждой схемы данных из S , со следующими свойствами:

$$D1. \forall S_i \in S, S_j \in S [S_j = DEC(S_i) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \forall S_k \in S [REL(S_i, S_j) \geq REL(S_i, S_k)]]$$

(семантические различия между оригиналом схемы и ее ближайшим образом по операции декомпозиции минимальны);

$$D2. \forall S_i \in S [\exists S_j \in S [DEC(\dots(DEC(S_i))) = S_j \wedge DEC(S_j) = S_i]]$$

(число рекурсивных декомпозиций одной схемы данных конечно, S_j – *терминальная схема* цепочки декомпозиции);

$$D3. \forall S_i \in S, S_j \in S [S_j = DEC(S_i) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow card(S_j) \geq card(S_i)]$$

(декомпозиция вызывает расщепление существующих отношений).

Операция декомпозиции схемы подобна аналогичной операции из теории реляционных баз данных [10], применяющейся для нормализации. Ее цель – увеличить число атомарных атрибутов и таким образом повлиять на релевантность с другими схемами (увеличить ее). Существует обратное к декомпозиции отображение – агрегация, но в рамках данной статьи его рассмотрение лишено смысла.

Показателем степени декомпозиции схемы в цепочке последовательных применений этой операции является *гранулярность*. Этот показатель

тем выше, чем больше промежуточных шагов между данной схемой и терминальной:

$$GRN(S_i) = 1 - \frac{m}{n}, \quad (5)$$

где $S_i = DEC^m(S_0)$; S_0 – начальный элемент цепочки декомпозиции, $GRN(S_0) = 1$; $S_j = DEC^n(S_0) \wedge DEC(S_j) = S_j$.

Моделью медиации будет называться метрическое пространство M , заданное на множестве схем данных S , порождаемых реляционной алгеброй R , дополненной операцией обобщенного пересечения. Метрика в пространстве M задана следующим образом:

$$d(a, b) \equiv \sqrt{(REL(a, b) - 1)^2}, \quad (6)$$

где $a, b \in M$.

Проверим выполнение основных свойств метрики:

1. Докажем, что $d(a, b) = 0 \Leftrightarrow a = b$:

$$d(a, b) = 0 \Rightarrow \sqrt{(REL(a, b) - 1)^2} = 0 \Rightarrow REL(a, b) = 1 \Rightarrow a = b,$$

2. Докажем, что $d(a, b) = d(b, a)$:

$$d(a, b) = \sqrt{(REL(a, b) - 1)^2} = \sqrt{(REL(b, a) - 1)^2} = d(b, a).$$

3. Докажем, что $d(a, c) + d(c, b) \geq d(a, b)$:

$REL(a, c) + REL(c, b) \geq REL(a, b)$ (в соответствии с (4)).

Функция $\sqrt{(REL(x, y) - 1)^2}$ монотонна относительно $REL(x, y)$, поэтому $\sqrt{(REL(a, c) - 1)^2} + \sqrt{(REL(c, b) - 1)^2} \geq \sqrt{(REL(a, b) - 1)^2} \Rightarrow d(a, c) + d(c, b) \geq d(a, b)$.

Таким образом, для (6) выполняются все свойства метрики. В пространстве M задана унарная операция декомпозиции $DEC: M \rightarrow M$, отвечающая свойствам D1-D3.

Задача установления семантической однородности

Нетрудно убедиться, что операция DEC равносильна заданию отношения частичного порядка в пространстве M . Элементы M организуются в конечные последовательности, расстояние между элементами которых минимально. В то же время метрика в M позволяет оценить степень семантического сходства между любыми двумя элементами различных последовательностей (см. рис.).

Из рисунка следует, что элементы любых двух цепочек можно ранжировать не только по значению степени операции декомпозиции, по-

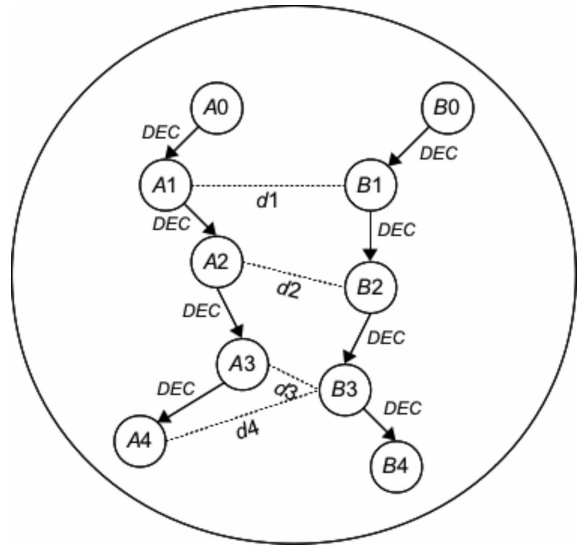


Иллюстрация к описанию структуры множества M

родившей данный элемент из предыдущего, но и по их взаимному расстоянию. Пусть даны две последовательности $\{A_1, \dots, A_n\}$, $\{B_1, \dots, B_m\}$, $A_i \in M$, $A_{i+1} = DEC(A_i)$, $B_i \in M$, $B_{i+1} = DEC(B_i)$. Задачу установления семантической однородности можно сформулировать следующим образом: найти такие значения

$$GRN(A_i), GRN(B_j), \quad (7)$$

при которых достигается условие:

$$\min_{A_i \in A, B_j \in B} d(A_i, B_j). \quad (8)$$

Так как декомпозиция схемы – процесс трудоемкий, а количество итераций заранее не определено, необходимо одновременно максимизировать значения (7). Данная задача относится к классу оптимизационных. Ее решение позволит привести исходные множества данных к наибольшей степени семантической однородности. Решение данной задачи выходит за рамки настоящей работы.

В данной статье рассмотрена проблема неоднородности когерентных данных и предложен подход к ее устранению, включающий в себя модель медиации и критерии оценки эффективности устранения неоднородности. Так как вопросы устранения синтаксической неоднородности хорошо исследованы, в настоящей статье они не рассматриваются.

В результате выполнения данной работы получены следующие выводы:

- существует возможность формального описания проблемы неоднородности данных и разработки модели для ее нейтрализации;



- неоднородность данных может быть выражена количественно в виде набора критериев/показателей;
- существует алгоритм приведения исходных множеств данных в модели медиации к максимальной семантической согласованности за конечное число шагов (свойство D2).

Ограниченный объем статьи не позволяет рассмотреть решение оптимизационной задачи (7)–(8), а также описать непосредственные отображения между отношениями в разных схемах после установления их однородности. Эти вопросы являются предметом для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kalinichenko, L.A.** Methods and tools for equivalent data model mapping construction [Text] / L.A. Kalinichenko // *Advances in Database Technology: Proc. of the International Conf. on Extending Database Technology EDBT'90. LNCS 416.* – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. –Р. 92–119.
2. **Калиниченко, Л.А.** СИНТЕЗ: Язык определения, проектирования и программирования интероперабельных сред неоднородных информационных ресурсов [Текст] / Л.А. Калиниченко. –М.: ИПИ РАН, 1995. –110 с.
3. **Асаи, К.** Прикладные нечеткие системы [Текст] / К. Асаи, Д. Вагада, С. Иваи [и др.]; Пер. с япон.; Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. –М.: Мир, 1993. –368 с.
4. **Бакланов, И.** Прибор, система, OSS... Что дальше? [Текст] / И. Бакланов // *Connect! Мир связи.* –2005. –№ 10.
5. Principles for a TMN. ITU-T Recommendation M.3010 (10/92) [Электронный ресурс].
6. Management framework for Open Systems Interconnection (OSI) for CCITT applications. ITU-T Recommendation X.700 (09/92) [Электронный ресурс].
7. Information technology – Open Systems Interconnection – Systems management overview. ITU-T Recommendation X.701 (11/92) [Электронный ресурс].
8. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1213.txt> (Дата обращения: 15.09.2011).
9. **Райли, Дж.** NGOSS: Построение эффективных систем поддержки и эксплуатации сетей для оператора связи [Текст] / Дж. Райли, М. Кринер. –М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. –192 с.
10. **Мейер, Д.** Теория реляционных баз данных [Текст] / Д. Мейер; Пер. с англ. –М.: Мир, 1987. –608 с.
11. **Рассел, С.** Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг; Пер. с англ. –2-е изд. –М.: ИД «Вильямс», 2006. –1408 с.

УДК 681.3.06

Б.Г. Ильясов, И.В. Дегтярева, Е.А. Макарова, Р.Р. Валитов

ДИНАМИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ СОЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФЕРТОВ

Современные условия развития российской экономики характеризуются наличием значительных проблем, связанных как с недостаточностью ресурсного обеспечения секторов экономики, так и с неопределенностью внешнеэкономической конъюнктуры и внутренних социально-экономических условий. Одним из факторов роста валового внутреннего продукта (ВВП) является внутренний (потребительский) спрос, рост которого, с одной стороны, оказывает положительное влияние на основные макроэкономические показатели, а с другой, – имеет отри-

цательные последствия в виде усиления инфляционных процессов и перегрева экономики [1–3]. Однако в условиях низкого уровня жизни в России, низких доходов населения и существенной неравномерности их распределения, превышающей рекомендуемые в мировой практике нормы, вопрос о стимулировании потребительского спроса за счет регулирования доходов населения с учетом их дифференциации должен рассматриваться как необходимый этап на пути модернизации экономики [4]. Названные обстоятельства обуславливают актуальность исследования и си-

стемного моделирования динамики формирования и регулирования доходов населения (сектора домохозяйств макроэкономической системы) и их влияния на потребительский спрос в рамках макроэкономического воспроизводственного процесса с учетом дифференциации доходов [5].

В границах проводимых исследований динамики воспроизводственного процесса многосекторной макроэкономической системы (ММЭС) ведется разработка комплекса системных моделей, включающего когнитивную модель формирования доходов и расходов населения в рамках воспроизводственного процесса ММЭС; функциональные и динамические модели процессов формирования и регулирования доходов с учетом налогообложения и социальных трансфертов, а также процессов потребления и сбережения [5, 6]. Далее рассматривается ряд особенностей их реализации и результаты имитационных экспериментов.

Когнитивная модель формирования доходов и расходов населения в рамках воспроизводственного процесса ММЭС (см. рисунок) содержит: четыре концепта – макроэкономических агента (МЭА) в виде секторов экономики, которые выполняют преобразования финансовых потоков доходов и расходов; также три дополнительных концепта в виде макроэкономических рынков (благ, труда и денег), выполняющих информационное регулирование финансовых потоков путем формирования рыночных цен [5].

Особенность когнитивной модели состоит в декомпозиции сектора домохозяйств на десять групп (децильных групп), дифференцированных по уровню располагаемых доходов. На рисунке темным цветом выделены замкнутые контуры финансовых потоков, охватывающие процессы формирования доходов и расходов населения с учетом децильных групп. Выделенные контуры включают десять контуров типа «производство–располагаемые доходы–потребление» и десять контуров типа «производство–налоги–социальные трансферты–потребление». Толщина связей отражает неравномерность распределения доходов с учетом налогов и предоставления социальных трансфертов и пропорциональна интенсивности (темпам) соответствующих финансовых потоков. Слияние финансовых потоков осуществляется простым сложением темпов; разделение потоков осуществляется либо согласно заданным пропорциям, либо в соответствии с предложенными алгоритмами. К таким алгоритмам относятся

алгоритм формирования налоговых отчислений сектора домохозяйств и алгоритм формирования социальных трансфертов, формируемых сектором государственных учреждений.

На основе ранее разработанных системных моделей секторов экономики [5] предложены *функциональные и динамические модели* поведения сектора А4 государственных учреждений и сектора А2 домохозяйств в целом, а также функциональные и динамические модели $A2_i$ формирования доходов и расходов i -й децильной группы населения в отдельности, которые являются инвариантными по отношению к уровню располагаемого дохода и, следовательно, к номеру децильной группы.

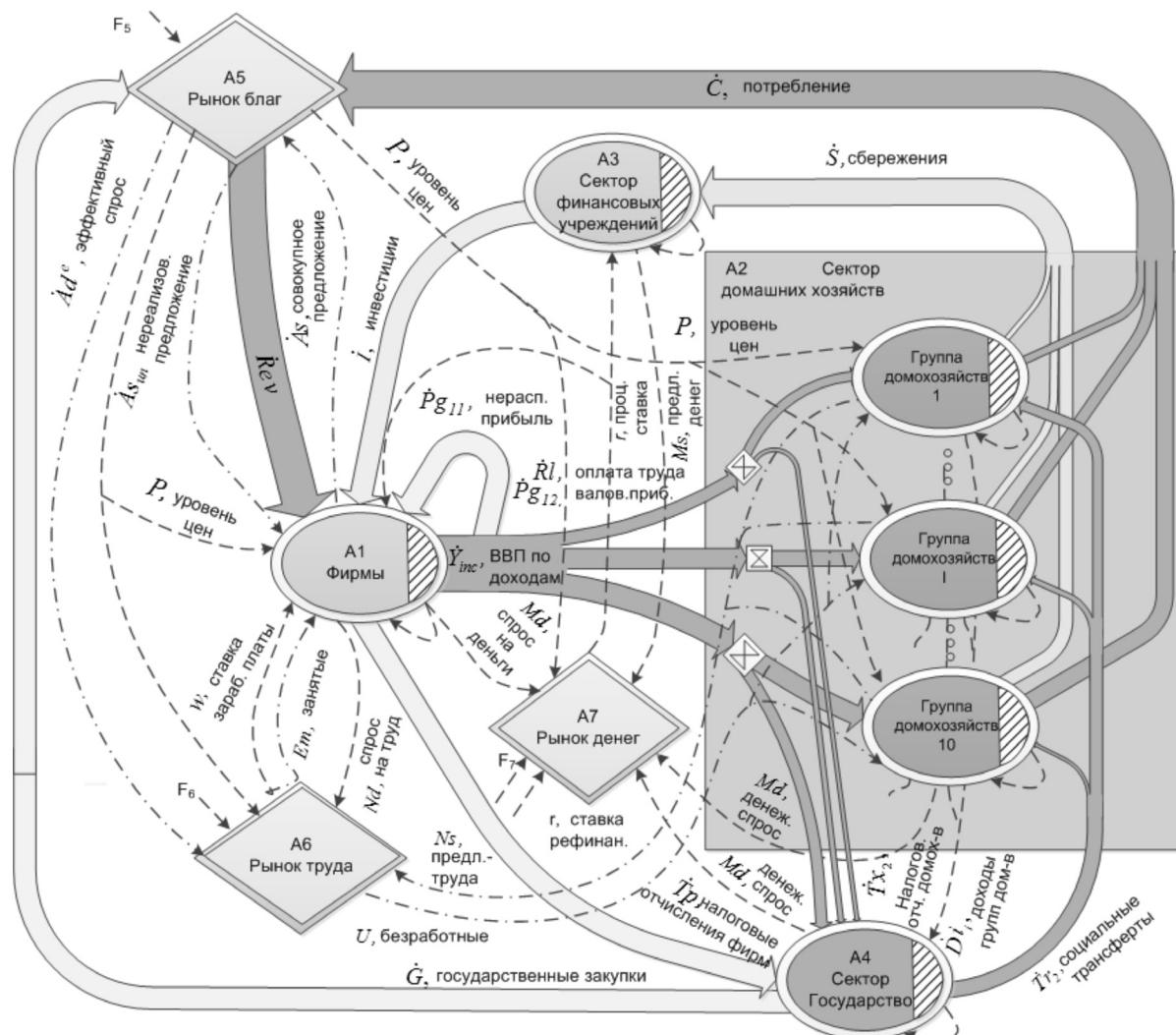
Особенности разработанных динамических моделей состоят в следующем. Во-первых, это наличие нескольких моделей потребления населения (Кейнса, Фридмана и Торнквиста) и возможность выбора той модели, которая является наиболее адекватной исследуемым условиям.

Во-вторых, это реализация алгоритмов регулирования доходов населения, которые предполагают формирование кортежа векторов регулирующих *воздействий* $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, где $U_1 = \{U_{1i}\}$, $i = \overline{1,10}$ – вектор корректировок заработной платы; $U_2 = \{U_{2i}\}$, $i = \overline{1,10}$ – вектор корректировок ставок налогообложения; $U_3 = \{U_{3i}\}$, $i = \overline{1,10}$ – вектор корректировок социальных трансфертов. Алгоритмы корректировки заработной платы и налогов встроены в модели поведения секторов А3 домохозяйств, алгоритм корректировки социальных трансфертов встроен в модель поведения сектора А4 государственных учреждений.

В-третьих, это наличие алгоритма применения прогрессивной шкалы налогообложения и возможность анализа влияния как плоской, так и прогрессивной шкал налогообложения на эффективность функционирования ММЭС в целом [6].

Наибольший интерес представляет алгоритм корректировки социальных трансфертов, включающий два этапа и имеющий ряд особенностей. Характерной особенностью алгоритма является то, что трансферты формируются в разрезе десятипроцентных групп населения, при распределении трансфертов по группам населения учитывается уровень доходов каждой из групп населения.

На *первом этапе* определяется суммарный темп предоставления социальных трансфертов $\dot{T}_2$, передаваемых государством сектору А2



Когнитивная модель формирования доходов и расходов населения в рамках воспроизводственного процесса ММЭС

домохозяйств. Принятие решения о формировании социальных трансфертов осуществляется на основе анализа объемов запасов сектора государственных учреждений и текущего состояния ММЭС в целом. На *втором этапе* выполняется распределение выделенной суммы трансфертов по десятипроцентным группам населения с учетом текущего уровня доходов домохозяйств, что реализуется в три шага.

Шаг 1. Производится оценка совокупных доходов децильной группы после выплат всех обязательных трансфертов (конкретно – налоговых отчислений) каждой из групп домохозяйств $\dot{Y}d'_i$. Оценка выполняется путем сопоставления с минимальным доходом децильной группы Yd^{r0} , который может быть интерпретирован как про-

житочный минимум. Для каждой группы домохозяйств рассчитывается величина дохода, недостающего до прожиточного минимума, по формуле:

$$\Delta \dot{Y}d'_i = \min \{0; Yd^{r0} - \dot{Y}d'_i\}, i = \overline{1, 10}.$$

В результате определяются наименее обеспеченные группы домохозяйств ($\Delta \dot{Y}d'_i > 0$), которым требуется увеличить предоставляемые социальные трансферты.

Шаг 2. Рассчитывается величина первоочередных социальных трансфертов по группам домохозяйств по формуле:

$$\dot{T}r'_{2i} = \min \{\dot{T}r_2, \Delta \dot{Y}d'_i\} \times \frac{\Delta \dot{Y}d'_i}{\Delta \dot{Y}d'}, i = \overline{1, 10}, \quad (1)$$

где $\Delta \dot{Y}d' = \sum_{i=1,10} \Delta \dot{Y}d'_i$ – величина недостающих до-

ходов домохозяйств, показывающая, какой объем социальных трансфертов необходим для приведения доходов всех групп домохозяйств к заданному минимальному уровню доходов Yd^{*0} (прожиточному минимуму). При этом в зависимости от соотношения между недостающей суммой доходов и выделяемыми трансфертами возможны три случая.

В первом случае ($\dot{T}r_2 < \Delta \dot{Y}d'$) запланированных социальных трансфертов недостаточно, чтобы привести доходы всех групп домохозяйств к заданному уровню Yd^{*0} – прожиточному минимуму. Тогда, согласно выражению (1), вся запланированная к передаче сумма социальных трансфертов распределяется между группами домохозяйств, имеющих доход ниже заданного уровня, пропорционально величине $\Delta \dot{Y}d'_i$. Иными словами, чем больше средств не хватает до заданного уровня, тем большую сумму трансфертов i -я группа домохозяйств получает.

Во втором случае ($\dot{T}r_2 \geq \Delta \dot{Y}d'$) запланированные социальные трансферты превышают недостающую до заданного уровня величину доходов домохозяйств. В этом случае в соответствии с выражением (1), каждая из групп домохозяйств получает недостающие доходы в виде социальных трансфертов.

В третьем случае ($\Delta \dot{Y}d'_i = 0$) группа домохозяйств обладает доходом выше прожиточного минимума и, как следствие, не получает дополнительных трансфертов.

В результате выполнения шага 2 рассчитывается вектор приоритетных целевых трансфертов и суммарный темп их формирования:

$$\dot{T}r'_2 = \sum_{i=1,10} \dot{T}r'_{2i}. \quad (2)$$

Шаг 3. Формируются дополнительные трансферты путем распределения оставшейся суммы социальных трансфертов по всем десятипроцентным группам домохозяйств с учетом вектора весовых коэффициентов $\{k_{Tr2i}\}$, $\sum_{i=1}^{10} k_{Tr2i} = 1$, задающего инвариантное фактическому распределению доходов разбиение трансфертов по формуле: $\dot{T}r''_{2i} = (\dot{T}r_2 - \dot{T}r'_2) \times k_{Tr2i}$, $i = 1, 10$.

Следует отметить, что в случае, если доход всех групп домохозяйств выше заданного в модели уровня Yd^{*0} , то последняя формула с учетом формул (1) и (2) примет вид $\dot{T}r''_{2i} = \dot{T}r_2 \times k_{Tr2i}$, $i = 1, 10$. Иными словами, если все группы домохозяйств имеют доход выше прожиточного минимума,

распределение социальных трансфертов осуществляется исключительно на основании вектора весовых коэффициентов $\{k_{Tr2i}\}$. В заключение формируются значения темпов формирования трансфертов, передаваемых каждой из десятипроцентных групп домохозяйств в виде суммы $\dot{T}r_{2i} = \dot{T}r'_{2i} + \dot{T}r''_{2i}$, $i = 1, 10$.

Предложенный алгоритм корректировки социальных трансфертов позволяет учитывать бюджетные ограничения на общий объем социальных трансфертов (на первом этапе) и недискреционные механизмы формирования социальных трансфертов (на втором этапе).

Проведены имитационные эксперименты, направленные на исследование влияния корректировки социальных трансфертов с учетом возможности применения прогрессивного налогообложения на макроэкономические показатели функционирования ММЭС в целом. Задается динамически равновесный режим с неравномерным распределением доходов и выделением трех множеств децильных групп домохозяйств, различающихся по уровню дохода (домохозяйства с низким, средним и высоким уровнями дохода).

Результаты экспериментов показали, что введение прогрессивной шкалы налогообложения приводит к перераспределению запасов экономики от сектора домохозяйств к государственному сектору за счет увеличения налоговых отчислений, выплачиваемых «богатыми» домохозяйствами. Наблюдается небольшое снижение потребительского спроса и ВВП, обусловленное сокращением доходов домохозяйств с высоким уровнем дохода. Снижается и степень дифференциации доходов, о чем свидетельствует уменьшение значений показателей неравномерности распределения доходов (индекса Джини и децильного коэффициента дифференциации доходов), рассчитываемых в динамике. Показано, что последующее применение предложенного алгоритма корректировки социальных трансфертов при отсутствии увеличения общей суммы трансфертов приводит к незначительному росту потребительского спроса, мультипликатор госрасходов составляет 1,2. Наблюдается волна снижения показателей неравномерности распределения доходов.

Таким образом, разработанный комплекс системных моделей позволяет проводить экспериментальные исследования влияния доходов населения с учетом их дифференциации на ди-



намику потребительского спроса и выпуска ВВП в различных ситуациях. Исследованы сценарии регулирования доходов населения за счет корректировки социальных трансфертов в направлении снижения неравенства доходов и введе-

ния прогрессивного налогообложения, которые продемонстрировали выход на траекторию роста потребительского спроса и ВВП, поддержание которой впоследствии должно быть обеспечено инвестиционными вложениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сценарные условия для формирования вариантов прогноза социально-экономического развития в 2013–2015 годах [Электронный ресурс] // Информационно-аналитические материалы Министерства экономического развития РФ, 2012. – Режим доступа: http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20120511_003 (Дата обращения 01.09.2012)
2. Кудряшов, К.А. Личное потребление как фактор экономического роста [Текст] / К.А. Кудряшов // Актуальные проблемы экономики и права. – 2011. – № 2. – С. 31–34.
3. Российская Федерация. Документ по отдельным вопросам [Электронный ресурс] // Информационно-аналитические материалы Международного Валютного Фонда. – Вашингтон, округ Колумбия, 2012. – Режим доступа: <http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/scr/2012/cr12218r.pdf> (Дата обращения 01.09.2012).
4. Шемяков, А.Ю. Неравенство доходов как фактор экономической и демографической динамики: Монография [Текст] / А.Ю. Шемяков. – М.: ИСЭПН РАН, 2010. – 43 с.
5. Ильясов, Б.Г. Методология системного моделирования и управления макроэкономической системой на неравновесных режимах [Текст] / Б.Г. Ильясов, Е.А. Макарова, Т.А. Карташева, Р.Р. Валитов // Управление большими системами: тр. Междунар. науч.-практ. мультиконф. Теория активных систем. – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 71–74.
6. Ильясов, Б.Г. Динамическая модель формирования доходов и расходов населения с учетом корректировки налоговых ставок и трансфертных платежей [Текст] / Б.Г. Ильясов, Е.А. Макарова, Р.Р. Валитов // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 121–129.

УДК 62-192: 519.254

В.Е. Гвоздев, М.А. Абдрафиков

ОЦЕНИВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ СИСТЕМ КОММУТАЦИИ ПО ДАННЫМ ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для ведомственных сетей связи специального назначения характерны высокие требования к надежности входящего в их состав оборудования, в значительной степени зависящей от надежности радиоэлектронных функциональных узлов систем коммутации. Последнее обусловлено тем, что системы коммутации используются не только в транзитных и транзитно-оконечных, но и в оконечных станциях сети связи. Надежное функционирование систем коммутации – один из критических факторов успеха обеспечения эффективной надежности ведомственных сетей связи.

Среди ключевых факторов эффективного управления надежностью технических изделий

отметим обработку данных об отказах на разных стадиях жизненного цикла изделия, в особенности на этапе эксплуатации. Оценка фактически достигнутого уровня надежности производится экспериментальными методами – по результатам определительных испытаний, либо по результатам подконтрольной эксплуатации.

Развитые технологии производства систем коммутации, с одной стороны, и ограниченное число выпускаемых изделий для ведомственных сетей связи, с другой стороны, часто не позволяют получать значительное число данных об отказах. Последствием этого является то, что использование традиционных методов математической

статистики для оценивания характеристик надежности данного класса изделий встречает серьезные затруднения.

Относительно понятия «малая выборка» необходимо отметить, что в известной литературе [1–3 и др.] сделана попытка формирования количественной характеристики этого понятия. По нашему мнению, количественные границы этого понятия определяются условиями исследования и зависят от двух факторов: от требований к качеству результатов обработки выборочных данных и от применяемого статистического аппарата.

В литературе [4–6 и др.] уделено значительное внимание вопросам исследования надежности технических изделий, в т. ч. при малом числе исходных данных. К ним можно отнести: ускоренные испытания; специально разработанный аппарат статистической обработки малого числа данных; использование экспертных оценок, теорию нечетких множеств и др. По своей природе эти методы анализа надежности нацелены на получение осредненных значений характеристик надежности объектов.

Для особо ответственных систем, включая радиоэлектронные функциональные узлы систем коммутации, используемые при построении ведомственных сетей связи специального назначения, целесообразно оценивать граничные значения характеристик надежности, т. е. оценивать надежность не «в среднем», а «в худшем случае». Подходы, ориентированные на оценивание граничных значений характеристик надежности при малом числе данных об отказах, в т. ч. когда тип закона распределения наработки до отказа заранее неизвестен, по нашему мнению, не получили достаточного развития.

В статье рассматривается метод оценки граничных значений характеристик надежности радиоэлектронных функциональных узлов систем коммутации, ориентированный на обработку малого числа данных об отказах, в т. ч. когда тип закона распределения наработки до отказа заранее неизвестен. Особое внимание уделено вычислительной процедуре, позволяющей применять данный метод в инженерной практике.

Особенности оценивания надежности радиоэлектронных функциональных узлов на основе граничных характеристик

Математической основой анализа граничных значений характеристик надежности является аппарат порядковых статистик: раздел, посвященный крайним порядковым статистикам.

В ходе исследований получены количественные характеристики, определяющие различие оценок значений показателей надежности, получаемых известными методами анализа надежности [7], по отношению к оценкам граничных значений характеристик надежности, получаемых методами, основанными на использовании крайних порядковых статистик (рис. 1). Под относительной вероятностью отказа понимается отношение вероятности отказа, определяемой по экстремальным статистикам, к вероятности отказа, определяемой традиционным способом.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что оценивание надежности на основе закона распределения наработки до отказа дает заниженную оценку граничных значений характеристик надежности на начальных этапах эксплуатации, причем смещение тем больше, чем больше объем выборочных данных. Оценки гра-

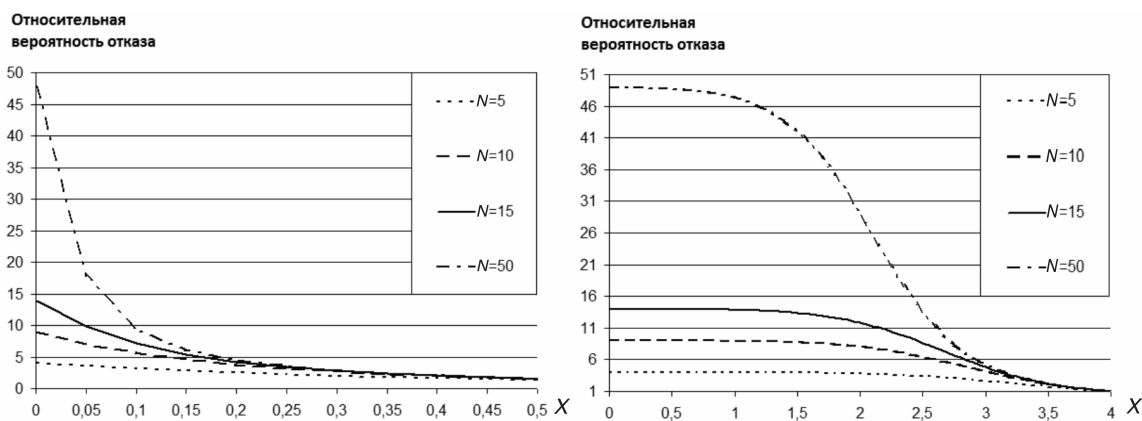


Рис. 1. Результаты представлены для показательного (слева) и нормального (справа) законов распределений
N – объем выборочных данных



нических значений характеристик надежности тем быстрее сходятся к оценкам, получаемым традиционным способом, чем более ассиметричным является закон распределения наработки до отказа. Установлено, что наиболее сильное различие наблюдается при малых значениях наработки до отказа. Из этого следует, что оценивание надежности на основе граничных характеристик наиболее целесообразно для изделий ответственного назначения, для которых важно обеспечить требуемые значения характеристик надежности в любой момент гарантийного срока эксплуатации.

Большинство работ, посвященных исследованиям экстремальных статистик, относится к асимптотической теории крайних порядковых статистик (объем выборки $N \rightarrow \infty$), закон распределения случайной величины при этом, как правило, предполагается известным. При решении практических задач часто без достаточных обоснований в качестве закона распределения наработки до отказа принимается показательный закон распределения, что неявно соответствует предположению о случайности причин отказов. При обработке реальных данных об отказах изделий такое предположение приводит к ошибочным оценкам значений характеристик надежности и, как следствие, понижает эффективность мероприятий, связанных с управлением надежностью на разных стадиях жизненного цикла изделия. Кроме того, на практике приходится иметь дело с выборками малого объема: для функциональных узлов систем коммутации число отказов изделий часто не превышает двух-трех десятков.

Существующие методы анализа порядковых статистик основаны на известном выражении дифференциальной функции распределения m -й ($m = 1; N$) порядковой статистики [8, 9 и др.]:

$$\varphi_N(x_{(m)}) = \frac{N!}{(m-1)!(N-m)!} [F(x)]^{m-1} \times [1 - F(x)]^{N-m} f(x), \quad (1)$$

где N – объем выборочных данных; $F(x)$, $f(x)$ – соответственно интегральная функция и плотность распределения генеральной совокупности.

Классические методы математической статистики, основанные на построении эмпирических функций распределения случайных величин, выдвижении и проверке гипотез о типе закона распределения, по своей сути ориентированы на обработку больших массивов исходных данных. Их использование для обработки выборок

ограниченного объема не позволяет эффективно использовать информацию о законе распределения непрерывной случайной величины, содержащуюся в выборочных данных и границах интервала возможных значений случайной величины. В результате этого использование классических методов математической статистики не позволяет получить по выборкам ограниченного объема точных и однозначных решений при оценивании закона распределения случайной величины $F(x)$ в формуле (1).

В литературе [2, 5] описаны формальные подходы к оцениванию законов распределения непрерывной случайной величины, позволяющие исключить этап выдвижения и проверки гипотез о типе закона распределения. Упомянем две известные модели, относящиеся к методам параметрической статистики и позволяющие оценивать закон распределения наработки до отказа в условиях ограниченного числа данных об отказах.

1. В качестве первой модели выступает известная унифицированная параметрическая модель, в основу получения которой положен принцип максимизации энтропии [10, 11 и др.]:

$$f(x) = \exp\left(\sum_{j=0}^m \mu_j x^j\right).$$

Параметры модели μ_j находятся в результате решения следующей системы нелинейных уравнений:

$$\int_0^\infty x^k \exp\left(\sum_{j=0}^m \mu_j x^j\right) dx = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^k}{N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, m,$$

где $x_1, \dots, x_N$ – наработки до отказа изделия.

Свойства данной модели, а также ссылки на литературные источники, в которых описаны результаты исследования этой модели, приведены в [5]. В упомянутой работе обосновано, что при малом числе исходных данных целесообразно оценивать только два первых момента ($m = 2$), при этом, несмотря на систематическую погрешность аппроксимации, оценки законов распределения оказываются в статистическом смысле устойчивыми. Там же обосновывается необходимость учета границ физически возможных значений случайной величины.

2. В качестве второй модели предлагается использовать закон распределения Эрланга. Поток Эрланга является частным случаем потоков Пальма и подробно описаны в известной работе Е.С. Вентцель [2]. Предпосылкой использования

закона распределения Эрланга при оценивании граничных значений характеристик надежности функциональных узлов систем коммутации является то, что промежутки времени между отказами данных объектов представляют собой независимые, одинаково распределенные случайные величины, что обусловлено существующими методиками проведения определительных испытаний и инструкциями подконтрольной эксплуатации. Данная модель более гибкая по сравнению с первой, за счет чего обеспечивается более высокая точность оценивания закона распределения наработки до отказа, однако при малом числе исходных данных она обеспечивает меньшую устойчивость получаемых оценок.

При оценивании значений характеристик надежности по выборочным данным левая граница физически возможных значений случайной величины априорно известна, поскольку время наработки до отказа изделия не может быть меньше нуля. В ходе проводившихся исследований, результаты которых приведены в [12], были определены условия применимости каждой из упомянутых моделей. В случае, когда тип закона распределения наработки до отказа заранее неизвестен, для данных об отказах объемом выборки $N \leq 10$ целесообразнее использовать первую модель, а при $N \geq 10$ – вторую модель. Это позволяет добиться меньшей систематической погрешности оценивания законов распределений крайних порядковых статистик и обеспечить их статистическую устойчивость.

Метод оценивания граничных значений характеристик надежности при априорно неизвестном типе закона распределения наработки до отказа сводится к следующей последовательности действий.

Шаг 1. По выборочным данным $\{x_i\}_1^N$ рассчитывается выборочное среднее:

$$\hat{M}[x] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$

Шаг 2. Рассчитывается эмпирическая оценка среднеквадратического отклонения:

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{M}[x])^2}.$$

Шаг 3. Исходные выборочные данные преобразуются по следующей формуле:

$$x_i^{(H)} = \frac{x_i}{\hat{\sigma}_x}.$$

Шаг 4. Определяется плотность распределения нормированных исходных выборочных данных $f(x^{(H)})$. В качестве оценки плотности $f(x^{(H)})$, в зависимости от объема выборочных данных, используется одна из упомянутых выше моделей (при объеме выборки $N \leq 10$ используется Модель 1, при $N \geq 10$ – Модель 2).

Шаг 5. Определяется плотность распределения нормированной минимальной порядковой статистики $\varphi_N(x_{\min}^{(H)})$, соответствующая выражению (1) при $m = 1$:

$$\varphi_N(x_{\min}^{(H)}) = N \left[1 - \int_0^x f(x^{(H)}) dx \right]^{N-1} f(x^{(H)}).$$

Шаг 6. Осуществляется переход к масштабу σ_x , которому соответствуют исходные выборочные данные:

$$\varphi_N(x_{\min}) = \varphi_N\left(x_{\min}^{(H)} \cdot \hat{\sigma}_x\right).$$

Далее, поскольку плотность распределения случайной величины является ее исчерпывающей характеристикой, крайние значения всех интересующих характеристик надежности оцениваются без каких-либо затруднений.

Вычислительная процедура оценивания граничных значений характеристик надежности

Практическое использование приведенного в предыдущем разделе метода оценивания граничных значений характеристик надежности изделий в значительной степени ограничивается сложностью вычислительной процедуры, необходимой для проведения расчетов по выражению (1). Первые два начальных момента для минимальной порядковой статистики выражаются следующими формулами:

$$M[x_{\min}] = \int_0^{\infty} x \cdot \varphi_N(x_{\min}) dx;$$

$v_2[x_{\min}] = \int_0^{\infty} x^2 \cdot \varphi_N(x_{\min}) dx$. Данные выражения не могут быть вычислены аналитически, а использование численных методов при объеме выборки $N \geq 15$ осложняется вычислительными погрешностями. Вычислительная сложность приведенных соотношений отмечена в [8].

С целью упрощения вычислительной процедуры нами разработан метод, основу которого составляют установленные в ходе исследований зависимости математических ожиданий и средних квадратических отклонений минимальной поряд-

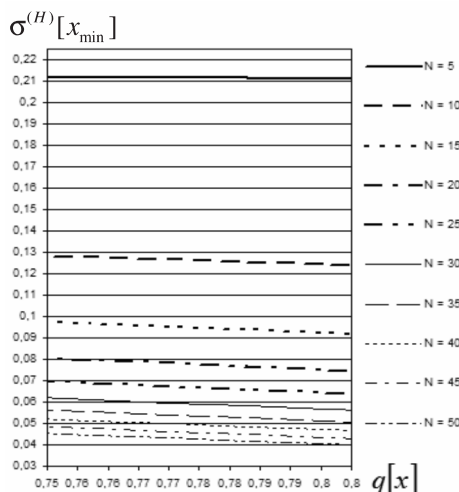


Рис. 2. Фрагмент зависимостей $\sigma^{(H)}[x_{\min}]$ от коэффициента вариации $q[x]$, соответствующих минимальной порядковой статистике

ковой статистики от математического ожидания и среднего квадратического отклонения, соответствующих закону распределения случайной величины $F(x)$.

Фрагмент полученных зависимостей значений нормированного среднего квадратического отклонения минимальной порядковой статистики $\sigma^{(H)}[x_{\min}]$ от коэффициента вариации выборочных данных $q[x]$ при разных объемах выборки N и различных законах распределения $F(x)$ представлен на рис. 2. Фрагмент зависимостей нормированного математического ожидания минимальной порядковой статистики $M^{(H)}[x_{\min}]$ от нормированного математического ожидания $M^{(H)}[x]$, при разных объемах выборки N и различных за-

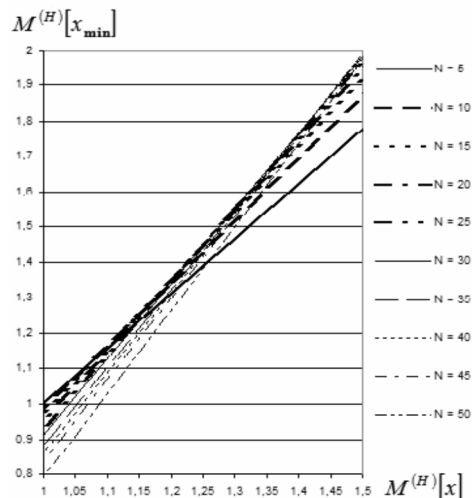


Рис. 3. Фрагмент зависимостей $M^{(H)}[x_{\min}]$ от $M^{(H)}[x]$, соответствующих минимальной порядковой статистике

конах распределения $F(x)$ представлен на рис. 3. Под нормированным математическим ожиданием понимается величина $M^{(H)}[x] = \frac{M[x]}{\sigma_x}$,

под нормированным математическим ожиданием минимальной порядковой статистики – величина $M^{(H)}[x_{\min}] = \frac{M[x_{\min}]}{\sigma[x_{\min}]}$, а под нормиро-

ванным средним квадратическим отклонением минимальной порядковой статистики – величина

$$\sigma^{(H)}[x_{\min}] = \frac{\sigma[x_{\min}]}{M[x]}.$$

Алгоритм оценивания граничных значений характеристик надежности на основе полученных зависимостей сводится к следующей схеме:

$$\begin{aligned} \{x\}_1^N &\rightarrow \begin{matrix} M[x] \\ \sigma_x \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} q[x] = \frac{\sigma_x}{M[x]} \\ M^{(H)}[x] = \frac{M[x]}{\sigma_x} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \sigma^{(H)}[x_{\min}] \rightarrow \sigma[x_{\min}] = \sigma^{(H)}[x_{\min}] \cdot M[x] \\ M^{(H)}[x_{\min}] \rightarrow M[x_{\min}] = M^{(H)}[x_{\min}] \cdot \sigma[x_{\min}] \end{matrix} \end{aligned}$$

По полученным значениям $M[x_{\min}]$ и $\sigma[x_{\min}]$, с помощью упомянутых выше моделей 1 и 2 можно оценить закон распределения минимального элемента выборки, что позволяет рассчитать характеристики надежности в «худшем случае».

Приведенная вычислительная процедура оценивания плотности распределения минимальной порядковой статистики $x_{\min}$ исключает необходимость оценивания исходного закона распределения $F(x)$. Полученные в ходе проводившихся исследований номограммы позволяют по первым

двум статистическим моментам исходного закона распределения, расчет которых производится по выборочным данным, без трудоемких и сложных вычислений получить оценки законов распределения крайних статистик.

Пример использования предлагаемой вычислительной процедуры оценивания граничных значений характеристик надежности

По результатам подконтрольной эксплуатации радиоэлектронных функциональных узлов

систем коммутации зарегистрировано 13 отказов, по выборочным данным получены следующие оценки значения математического ожидания и среднего квадратического отклонения наработки до отказа: $M[x] = 24\,500$ ч, $\sigma_x = 18\,600$ ч.

Шаг 1. Рассчитывается коэффициент вариации $q[x]$ и нормированное математическое ожидание $M^{(H)}[x]$:

$$q[x] = \frac{\sigma_x}{M[x]} = \frac{18600}{24500} = 0,759;$$

$$M^{(H)}[x] = \frac{M[x]}{\sigma_x} = \frac{24500}{18600} = 1,317.$$

Шаг 2. По рис. 2 определяется значение нормированного среднего квадратического отклонения минимальной порядковой статистики $\sigma^{(H)}[x_{\min}]$, соответствующее полученному $q[x]$. В силу того, что построенные номограммы не содержат линий, соответствующих объему выборки $N = 13$, использовалась линейная интерполяция:

$$\sigma^{(H)}[x_{\min}] = 0,096 + (0,128 - 0,096) \frac{15 - 13}{15 - 10} = 0,109.$$

Шаг 3. По рис. 3 определяется значение нормированного математического ожидания минимальной порядковой статистики $M^{(H)}[x_{\min}]$:

$$M^{(H)}[x_{\min}] = 1,550 + (1,579 - 1,550) \frac{13 - 10}{15 - 10} = 1,567.$$

Шаг 4. Для полученного значения нормированного среднего квадратического отклонения минимальной порядковой статистики осуществляется переход к масштабу исходных выборочных данных:

$$\sigma[x_{\min}] = \sigma^{(H)}[x_{\min}] \cdot M[x] = 0,109 \cdot 24500 = 2670.$$

Шаг 5. По известным значениям нормированного математического ожидания $M^{(H)}[x_{\min}]$ и среднего квадратического отклонения $\sigma[x_{\min}]$ ми-

нимальной порядковой статистики определяется ее математическое ожидание:

$$M[x_{\min}] = M^{(H)}[x_{\min}] \cdot \sigma[x_{\min}] = 1,567 \cdot 2670 = 4180.$$

Шаг 6. Поскольку объем выборки $N \geq 10$, при оценивании законов распределения граничных значений характеристик надежности целесообразнее использовать закон распределения Эрланга. На рис. 4 приведены соответствующие исходным данным оценки закона распределения минимальной порядковой статистики, построенные по найденным значениям $M[x_{\min}]$ и $\sigma_{\min}$.

В итоге проведенных исследований получены следующие результаты:

На основе использования аппарата порядковых статистик предложен метод, позволяющий оценивать граничные значения характеристик надежности радиоэлектронных функциональных узлов систем коммутации, отличающийся от известных тем, что его использование позволяет полностью формализовать процедуру оценивания граничных значений характеристик надежности, в т. ч. при малом числе исходных данных, а также в случае, когда тип закона распределения наработки до отказа заранее неизвестен. Определены границы применимости предлагаемого метода. Установлено, что в случае, когда тип закона распределения наработки до отказа заранее неизвестен, для данных об отказах объемом выборки $N \leq 10$ целесообразнее использовать унифицированную параметрическую модель, а при $N \geq 10$ – модель, в основе которой лежат потоки событий Эрланга.

На основе установленных в ходе исследований зависимостей параметров законов распределений крайних порядковых статистик от параме-

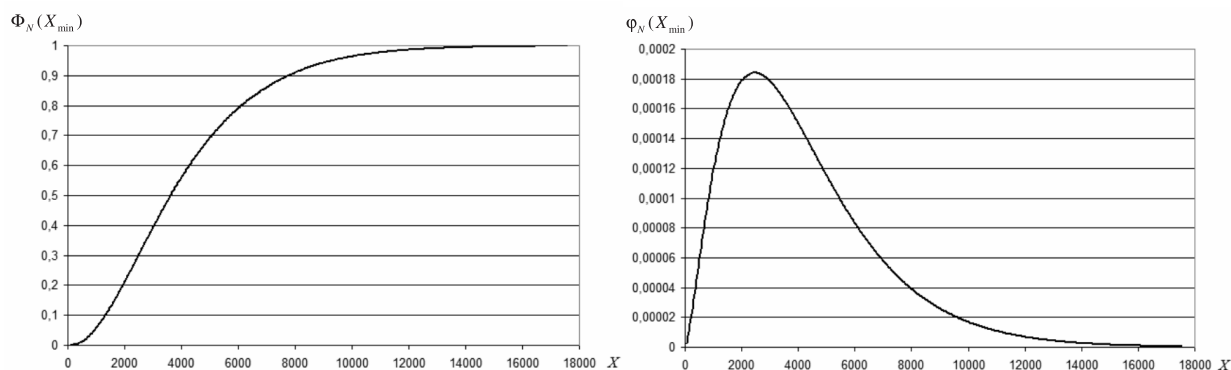


Рис. 4. Интегральная функция (слева) и плотность распределения (справа) минимальной порядковой статистики



тров закона распределения случайной величины разработана вычислительная процедура оценивания законов распределения крайних значений характеристик надежности, отличающаяся от известных тем, что для ее использования требуется знание лишь первых двух начальных моментов и объема выборочных данных; исключена необходимость оценивания исходного закона распределения наработки до отказа. Это позволяет упростить вычисления и разработать формаль-

ную процедуру оценивания граничных значений характеристик надежности, в т. ч. по малому числу исходных данных, а также в условиях отсутствия априорной информации о типе закона распределения наработки до отказа. Формализация процедуры оценивания граничных значений характеристик надежности делает возможным ее реализацию в виде прикладного программного продукта.

Работа проведена в рамках гранта РФФИ 10-08-00359-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаскаров, Д.В. О прогнозировании надежности высоконадежных изделий [Текст] / Д.В. Гаскаров, С.А. Колосов, В.И. Попеначенко // Электронная техника. Управление качеством и стандартизация. –1970. –Вып. 3. –С. 13–21.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. –2-е изд. –М.: Высш. школа, 2000. –480 с.
3. Гаскаров, Д.В. Малая выборка [Текст] / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов. –М.: Статистика, 1978. –248 с.
4. Калюжный, И.Н. Исследование и разработка ускоренных методов оценки надежности радиоэлектронной аппаратуры, сокращающих объем и продолжительность испытаний [Текст] / И.Н. Калюжный, Е.Ю. Мешков // Сибирский научный вестник. –2000. –Вып. 4. –С. 214–216.
5. Гузаиров, М.Б. Статистическое исследование территориальных систем: Монография [Текст] / М.Б. Гузаиров, В.Е. Гвоздев, Б.Г. Ильясов [и др.]. –М.: Машиностроение, 2008. –187 с.
6. Уткин, Л.В. Нетрадиционные методы оценки надежности информационных систем [Текст] / Л.В. Уткин, И.Б. Шубинский. –СПб.: Любавич, 2000. –173 с.
7. Дружинин, Г.В. Надежность автоматизированных систем [Текст] / Г.В. Дружинин. –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергия, 1977. –536 с.
8. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений [Текст] / Э. Гумбель. –М.: Мир, 1965. –450 с.
9. Дэйвид, Г. Порядковые статистики [Текст] / Г. Дэйвид; Пер. с англ. В.А. Егоровой, В.Б. Невзоровой. –М.: Наука, 1979. –336 с.
10. Трайбус, М. Термостатика и термодинамика [Текст] / М.М. Трайбус. –М.: Энергия, 1970. –504 с.
11. Кузин, Л.Т. Основы кибернетики [Текст] / Л.Т. Кузин. –М.: Энергия, 1973. –Т. 1. –503 с.
12. Гвоздев, В.Е. Анализ надежности технических систем на основе математико-статистического моделирования [Текст] / В.Е. Гвоздев, Г.И. Таназлы, А.Ю. Хасанов, М.А. Абдрафиков // Управление, вычислительная техника и информатика. –Уфа: Изд-во Уфимского авиационного технического ун-та, 2011. –Т. 15. –№ 2 (42).

УДК 519.6

И.Я. Шейнман, Н.Н. Шабров, В.А. Киев, А.Ю. Снегирёв, А.С. Цой

МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ

Полевое моделирование динамики пожара – важная практически, мультифизичная и ресурсоемкая задача. Численное моделирование возможного пожара на стадии проектирования объекта позволяет выполнить многовариантный анализ и, как следствие, извлечь существенные экономические преимущества при обеспечении требуемого уровня безопасности. Наиболее информативной

технологией моделирования турбулентного горения при пожаре является применение метода крупных вихрей [1]. Такой подход требует длительных вычислений случайных нестационарных пульсаций всех характеристик потока с высоким пространственным разрешением. При последовательной программной реализации численных методов или малом числе используемых ядер в

случае параллельной версии длительность расчета становится неприемлемо большой (порядка нескольких недель и более). Следовательно, для внедрения вычислений данного типа в широкую инженерную практику требуются параллельные вычисления на большом числе процессоров. При этом необходима количественная информация об изменении скорости вычислений в зависимости от числа активных ядер в условиях заданной архитектуры кластера. Такой анализ масштабируемости задачи важен для оценки вычислительных возможностей, ограничений по размерам пространственных сеток и для прогноза длительности расчетов.

В настоящее время в инженерной и научной практике применяются три вида программного обеспечения (ПО) для численного моделирования горения при пожаре. К первому виду относятся мощные универсальные вычислительные гидродинамические пакеты, доступные на коммерческой основе, позволяющие моделировать пожар в условиях сложной, нестандартной геометрии помещений с использованием параллельных вычислений на современных кластерах. Универсальность указанных пакетов приводит к большой длительности расчетов. Вместе с высокой стоимостью лицензий это повышает общие затраты на моделирование. Ко второму виду можно отнести коды собственной разработки (например, Fire3D [2]), применимость которых ограничена узким кругом пользователей. К третьему, относительно новому в данной области приложений, виду программных средств относится свободно распространяемое ПО с открытым кодом. Разработаны узкоспециализированные программы, изначально предназначенные для решения задач пожарной безопасности (FDS [3]). Наряду с ними существуют специализированные коды для моделирования пожаров, использующие компоненты программ общего назначения, созданных для широкого класса задач физики и механики сплошной среды. Представителем последнего подхода является код FireFOAM, разработанный на базе объектно-ориентированной библиотеки OpenFOAM [4].

Использование открытого ПО допускает его гибкую адаптацию для конкретной задачи и позволяет существенно снизить стоимость вычислений, что особенно важно в широкой инженерной практике. Кроме того, при этом снимается проблема лицензионных ограничений, характерных

для проприетарного ПО, и открывается возможность использования программ в режиме облачных сервисов. Перечисленные факторы способствуют растущей популярности данной категории программ. Отметим, что в представленной работе открытое ПО впервые использовано для моделирования динамики пожара в режиме «облачных» вычислений (программа Университетский кластер [5]).

Систематические исследования эффективности работы параллельных версий OpenFOAM и FDS начались лишь в последнее время и поэтому представлены преимущественно в интернет-публикациях и материалах конференций [6–12]. Обзор результатов, полученных к настоящему времени для решателей OpenFOAM, приведен в табл. 1.

В табл. 1 и далее в данной статье в качестве характеристик эффективности параллельных вычислений использованы два параметра: ускорение (продолжительность вычислений на одном ядре, отнесенная к продолжительности вычислений на нескольких ядрах) и эффективность (ускорение, отнесенное к числу используемых ядер). Независимо от технических характеристик кластеров, максимальное ускорение в опубликованных работах достигалось на тем большем количестве ядер, чем большее число ячеек содержала расчетная сетка. В частности, для сеток, содержащих около 1 млн ячеек, оптимальным оказалось использование до 128 ядер, а для сеток, содержащих около 10 млн, – до 512 ядер [10]. Поскольку в качестве тестовых задач рассматривались в основном канонические задачи гидродинамики, такие, как ламинарное течение в каверне с движущейся крышкой или обтекание обратного уступа, не представляется возможным распространить имеющиеся результаты на задачи, характерные для моделирования пожара. Информация о масштабируемости FDS и FireFOAM ограничивается единичными публикациями (см., например, [11, 12]).

Данная статья заполняет этот пробел и представляет результаты исследования масштабируемости указанных программных продуктов при численном моделировании турбулентного естественно-конвективного пламени, характерного для очага пожара. Цель работы – определение оптимального размещения процессов по узлам кластера и оценивание максимальной эффективности параллельных вычислений в зависимости от размерности расчетной сетки.

Таблица 1

Масштабируемость решателей OpenFoam (опубликованные результаты)

Источник	Тип тестовой задачи	Количество ячеек пространственной сетки, млн	Максимальное число ядер	Максимальное ускорение/ эффективность при данном ускорении
[6]	Обтекание обратного уступа, LES, $Re = 10000$	0,66 и 5,28	4	5/1,25
[7]	Ламинарное течение в каверне с подвижной крышкой	1	192	50/0,52 на 96 ядрах
	Удар капли о стенку	8	768	179/0,23 на 768 ядрах
[8]	Ламинарное течение в каверне с подвижной крышкой	3,375 8 15,625	1024	827/0,81 (среднее для трех сеток)
[9]	Модель течения в человеческой гортани при работе голосовых связок	3,2	16	12/0,75
[10]	Ламинарное течение в каверне с подвижной крышкой	1	1024	36,5 на 128 ядрах. Время расчета отнесено к времени расчета на четырех ядрах
		8		64 на 512 ядрах. Время расчета отнесено к времени расчета на 8 ядрах
	Атомизация турбулентной струи, LES	19		23,6 на 512 ядрах. Время расчета отнесено к времени расчета на 16 ядрах

Постановка тестовой задачи

В качестве тестовой выбрана задача моделирования установившегося естественно-конвективного диффузионного турбулентного пламени в открытом пространстве над круглой пористой горелкой диаметром 30 см. Постановка задачи соответствует условиям эксперимента [13]. Расход горючего (пропан) обеспечивает мощность тепловыделения от 15,8 до 37,9 кВт [13]. Характерное мгновенное поле температуры в осевой плоскости пламени показано на рис. 1.

В обоих решателях для моделирования турбулентного течения газовой смеси применялся метод крупных вихрей (LES) и решалась система уравнений Навье–Стокса для сжимаемой среды, отфильтрованная по Фавру. Для замыкания уравнений переноса и определения остаточных (подсеточных) напряжений применялась концепция турбулентной вязкости. В FireFOAM для расчета турбулентной вязкости использовалась модель с одним уравнением для подсеточной кинетической энергии турбулентности [14], а в FDS – статическая модель Смагоринского. Горение моделиро-

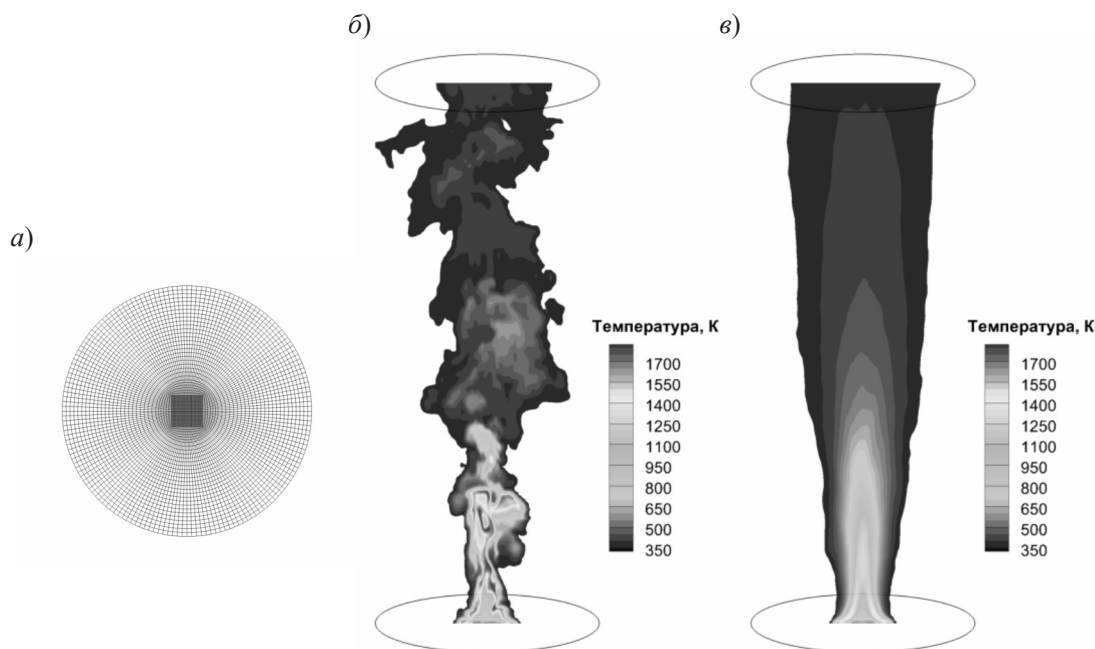


Рис. 1. Расчет турбулентного пламени с помощью FireFoam:
а – расчетная сетка в горизонтальном сечении; б – мгновенное поле температуры; в – поле температуры, осредненное по времени

валось в приближении бесконечно быстрой необратимой реакции с учетом конечной скорости подсеточного смешения реагентов (описание моделей горения, применяемых в FDS и FireFOAM, приведено в [3, 12]). Расчет теплообмена излучением выполнялся методом дискретных ординат в FireFOAM и методом контрольных объемов в FDS [3]. При этом для расчета коэффициента поглощения излучения в FireFOAM применялся метод взвешенной суммы серых газов, а в FDS использовались несколько коэффициентов поглощения, осредненных по выделенным спектральным полосам [3].

Решатель FireFOAM использует процедуры коррекции давления и полностью неявные аппроксимации по времени. Полученные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) решались итерационными методами [15]. В частности, дискретные аналоги уравнений для компонент скорости, кинетической энергии турбулентности, энтальпии и состава решались методом сопряженных градиентов с предобуславливанием для систем с несимметричной матрицей (PBiCG), а уравнения для моделирования теплообмена излучением – методом сопряженных градиентов с предобуславливанием для систем с симметричной матрицей (PCG) и геометро-алгебраическим

многосеточным методом (GAMG). Самая затратная с точки зрения длительности вычислений часть алгоритма, уравнение для давления, также использовала многосеточный метод GAMG. Последовательное решение отдельных уравнений модели объединялось глобальными итерациями на каждом временном шаге.

В FDS для аппроксимации по времени применялась двухшаговая схема предиктор-корректор второго порядка точности, а уравнение для поля давления решалось прямым методом быстрого преобразования Фурье.

При использовании FireFOAM расчетная область представляла собой круговой цилиндр. В приосевой области многоблочной расчетной сетки использовался блок в виде прямоугольного параллелепипеда с декартовой сеткой. Тесты выполнялись для двух сеток: крупной (с числом ячеек 1,344 млн) и мелкой (с числом ячеек 7,248 млн). При использовании FDS применялась одноблочная декартова сетка из 1,28 млн ячеек, которая в высокотемпературной области обеспечивала пространственное разрешение, близкое к разрешению в расчетах с помощью FireFOAM.

Анализ масштабируемости

Тестирование решателя FireFOAM в составе

Таблица 2

Характеристики вычислительного кластера ЦКП «Компьютерные технологии проектирования и моделирования в системах виртуальной реальности» кафедры компьютерных технологий в машиностроении ММФ СПбГПУ

Количество узлов	11
Количество процессоров	22
Количество ядер	88
Тип процессора узла	2 x Xeon E5420 (4 ядра по 2,5 GHz)
ОЗУ/дисковая память вычислительного узла	ОЗУ 8 Гб. Диск Seagate Barracuda ST3250310AS 250 Гб
Общая дисковая память	Xyratex StorView, 2.8 Тб (RAID10)
Тип системной сети	Infiniband
Тип управляющей сети	1Gbit Ethernet
Пиковая производительность	436 GFlops, HPLinpack 2.0
Операционная система	OpenSUSE Linux 11.1 x86-64
Система питания	APC SmartUPS RT 10000

OpenFOAM v. 2.1.0. проводилось на кластере, технические характеристики которого приведены в табл. 2.

Тестирование FDS 5.5 выполнялось на базе технологической платформы UniHUB программы «Университетский кластер». Платформа UniHUB разработана и поддерживается Институтом системного программирования РАН [5].

Оба кода для реализации параллельных вычислений используют MPI, при этом пространственная сетка разбивается на блоки, количество которых соответствует числу задействованных ядер. В FireFOAM предусмотрено три способа декомпозиции расчетной области. Известно [16], что для эффективного использования кластера количество ячеек сетки, примыкающих к границам

между двумя различными блоками и имеющих общие поверхности (зоны перекрытия), должно быть минимальным и составлять не более 10 % от полного числа ячеек. В данной работе использовался метод scotch [4], позволяющий минимизировать число границ между блоками. На рис. 2 в качестве примера представлен результат декомпозиции для пяти процессоров.

Видно, что в этом случае степень перекрытия составляет 2,8 %. Кроме того, данный метод также гарантирует равномерное распределение числа ячеек сетки по ядрам кластера.

Декомпозиция в FDS осуществлялась вручную, при этом также стремились обеспечить равномерное распределение ячеек сетки по ядрам кластера.

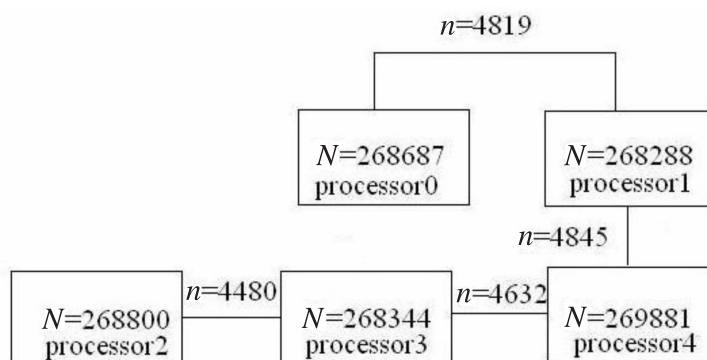


Рис. 2. Пример декомпозиции с помощью метода scotch
N – число ячеек; n – число поверхностей ячеек, общих для пары процессоров

При оценке масштабируемости ПО важным моментом является задание интервала времени (или числа итераций для стационарных задач), на котором выполняется измерение длительности вычислений. В [10] отмечено, что полученное ускорение может зависеть от количества рассматриваемых итераций. Кроме того, для нестационарных задач или расчета стационарных процессов методом установления на результаты оценки масштабируемости может повлиять абсолютное значение момента времени, в окрестности которого выполняются расчеты. Для рассматриваемой тестовой задачи установившееся пламя над горелкой формируется примерно через 5 с после начала подачи и воспламенения горючего, при этом для установившегося режима характерны крупномасштабные пульсации, период которых в рассматриваемом случае составляет около 0,3 с [17].

Наиболее затратным по времени является решение СЛАУ, полученных при дискретизации исходной задачи. Поскольку в FireFOAM для решения СЛАУ применяются итерационные методы, то наиболее «медленным» с точки зрения вычислений будет резко нестационарный переходный участок процесса, требующий наибольшего числа итераций. При этом рассматриваемое на этом участке число временных шагов должно быть достаточным, чтобы проявились нестационарные эффекты. Для прямого метода, используемого в FDS для решения уравнения Пуассона, количество рассматриваемых временных шагов и выбор момента времени не должны оказывать заметного влияния. В связи с этим при тести-

ровании FireFOAM для крупной сетки оценка производительности проводилась на интервале времени 1 с, что соответствовало 900 шагам по времени. Для мелкой сетки рассматривались интервалы времени 0,1 с и 0,01 с, что соответствовало 170 и 5 шагам по времени. При тестировании FDS рассматривался временной интервал 1 с (80 шагов по времени).

Результаты расчетов

Предварительно выполнено исследование масштабируемости задачи на одном узле. Результаты тестов приведены в табл. 3 и на рис. 3.

Видно, что для сеток с числом ячеек около 1 млн (кривые 1, 2) максимальное ускорение на одном узле составляет 2,5–2,6, а для числа ядер более четырех роста ускорения не наблюдается. Подобная кривая с насыщением получена в [16] при тестировании ANSYS CFX внутри одного узла. Возможно, данное ограничение по масштабируемости возникает из-за наличия общего для обоих процессоров внешнего четырехканального контроллера памяти, пропускная способность которого недостаточна. Для мелкой сетки с 7,248 млн ячеек задача не масштабируется на одном узле, с ростом числа загруженных ядер длительность расчета возрастает (кривая 3). Такое поведение связано с нехваткой памяти и использованием раздела подкачки.

Для расчетов с помощью FireFOAM на крупной сетке рассмотрено влияние на масштабируемость различных вариантов размещения процессов на узлах кластера. Полученные зависимости ускоре-

Таблица 3

Продолжительность расчетов на одном узле

Число ядер	Длительность расчета, с		
	fireFoam, сетка 1,344 млн ячеек	fireFoam, сетка 7,248 млн ячеек, (интервал 0,01 с)	FDS, сетка 1,28 млн ячеек
1	89755	1127	408
2	52342	1157	375
3	49352	1163	307
4	36531	1419	204
5	37102	1421	198
6	38941	1899	193
7	37173	2469	200
8	34707	2190	208

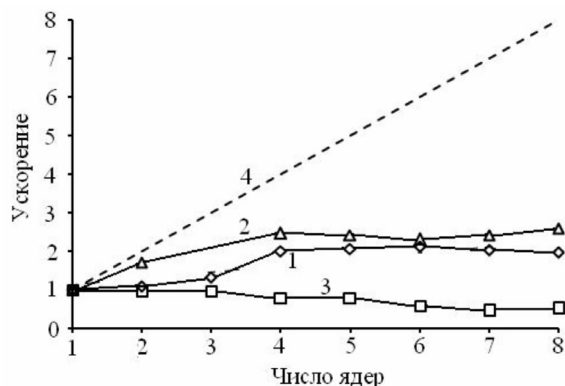


Рис. 3. Масштабируемость на одном узле
1 – FDS; 2 – FireFOAM, 1,344 млн ячеек; 3 – FireFOAM, 7,248 млн ячеек, интервал 0,01 с; 4 – линейное ускорение

ния и эффективности приведены на рис. 4, 5.

Видно, что при использовании нескольких узлов на ускорение влияют два фактора. С одной стороны, нагрузка на узле более четырех ядер резко снижает эффективность работы отдельного узла. С другой стороны, с увеличением количества используемых узлов эффективность падает тем быстрее, чем меньше ядер задействовано на одном узле. Таким образом, максимальное ускорение для задачи на крупной сетке достигается при загрузке четырех ядер на одном узле и составляет 20,3 при эффективности 51 %. Полная загрузка узлов оказывается нецелесообразной.

Тестирование на сетке из 7,248 млн ячеек также выполнялось для решателя FireFOAM. Масштабируемость задачи исследовалась при загрузке четырех ядер отдельного узла. На рис. 6 приведены полученные зависимости ускорения от числа ядер.

Видно, что на мелкой сетке максимальное достижимое ускорение выше, чем на крупной, зави-

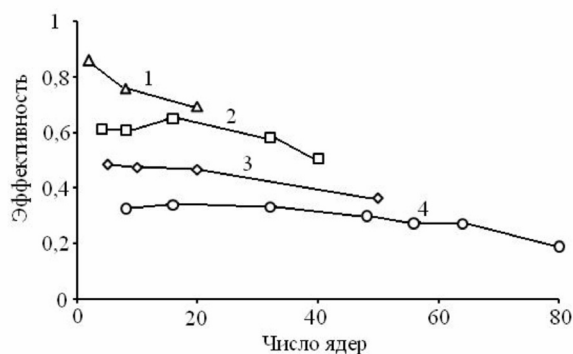


Рис. 5. Эффективность для различной загрузки узлов, сетка с 1,344 млн. ячеек
Число используемых ядер на узле: 1 – 2, 2 – 4, 3 – 5, 4 – 8

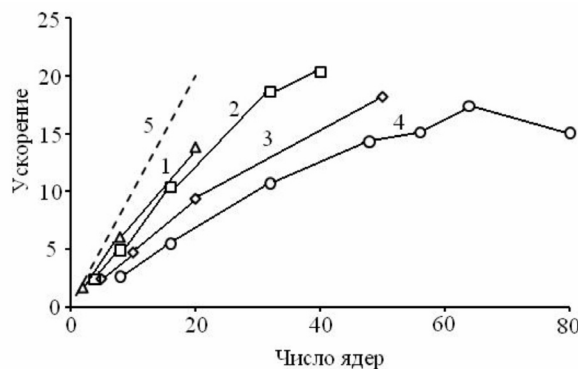


Рис. 4. Ускорение для различной загрузки узлов, сетка с 1,344 млн ячеек
Число используемых ядер на узле: 1 – 2, 2 – 4, 3 – 5, 4 – 8; 5 – линейное ускорение

симось ускорения от времени близка к идеальной (кривая 4), кроме того, временной интервал оказывает влияние на масштабируемость задачи.

В статье представлен анализ масштабируемости FireFOAM и FDS – двух свободно распространяемых программных продуктов с открытым кодом для полевого моделирования пожаров. Получены следующие результаты.

При тестировании внутри одного узла для обоих программных продуктов в задачах с пространственными сетками, содержащими около 1 млн ячеек (крупная сетка), ускорение не превышает 2,6, кривая зависимости ускорения от числа задействованных ядер выходит на насыщение при количестве ядер более четырех.

Для FireFOAM выполнено тестирование на мелкой сетке с 7,248 млн ячеек внутри одного

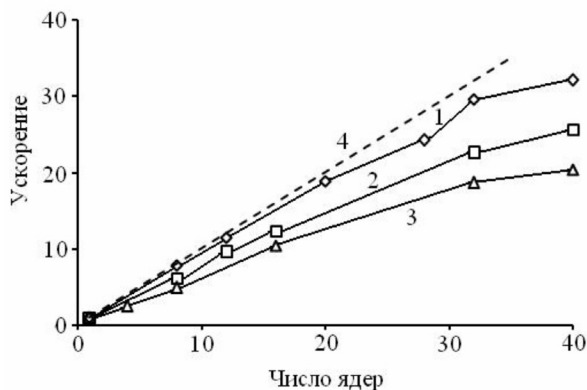


Рис. 6. Ускорение при использовании четырех ядер на узле
1 – сетка с 7,248 млн ячеек, интервал времени 0,1 с;
2 – сетка с 7,248 млн ячеек, интервал времени 0,01 с;
3 – сетка с 1,344 млн ячеек; 4 – линейное ускорение

узла кластера, а также на нескольких узлах как для крупной, так и для мелкой сеток. При этом внутри одного узла на мелкой сетке задача не масштабируется, с ростом числа используемых ядер ускорение падает, что может быть связано с нехваткой памяти и с использованием раздела подкачки.

При решении задачи на крупной сетке на нескольких узлах максимальное ускорение достигается при размещении по четыре процесса на узел (40 ядер), эффективность составляет 51 %. При таком же размещении процессов для мелкой сетки эффективность выше и составляет 80 %.

Для FireFOAM при оптимальном размещении процессов по узлам кривые ускорения на насыщение не выходят. В связи с этим представляет интерес выполнение тестов на кластере с большим количеством узлов. Для FDS в дальнейшем также планируется продолжить тестирование на мелких сетках и на большем числе узлов кластера.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-07-12065 офи_м), с использованием ресурсов программы «Университетский кластер» и кафедры компьютерных технологий в машиностроении ММФ СПбГПУ.

Авторы выражают благодарность С. Стрижаку и О. Сомоварову за консультации и помощь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Trouve, A.** Large eddy simulation of compartment fires [Text] / A. Trouve, Y. Wang // International J. of Computational Fluid Dynamics. –2010. –Vol. 24. –№ 10. –P. 449–466.
2. **Snegirev, A.** Flame suppression by water sprays: flame-spray interaction regimes and governing criteria [Text] / A. Snegirev, A. Lipjainen, V. Talalov // Proc. of the 12th International conf. Interflam 2010 (Nottingham, UK, 5-7 July 2010). Interscience Comm. London. –2010. –Vol. 1. –P. 189–199.
3. **McGrattan, K.** Fire Dynamics Simulator (Version 5) [Текст] / K. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka [et al.]. –Technical Reference Guide NIST Special 724 Publication 1019-5. –2010. –Vol. 1, 2. –108 p.
4. OpenFOAM. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.openfoam.org/>
5. Unihub.ru, проект ИСП РАН. Технологическая платформа программы «Университетский кластер». [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://unihub.ru/>
6. **Jasak, H.** Preconditioned Linear Solvers for Large Eddy Simulation [Электронный ресурс] / H. Jasak, A. Jemcov, J.P. Maruszewski // CFD 2007 Conf., CFD Society of Canada. –Toronto, 2007. –10 p. –Режим доступа: <http://powerlab.fsb.hr/ped/kturbo/openfoam/papers/CFD2007CanadaPrecon.pdf>
7. **Culpo, M.** Current bottlenecks in scalability of OpenFoam on massively parallel clusters [Электронный ресурс] / M. Culpo // PRICE Whitepapers, 9 Aug., 2012. –13 p. –Режим доступа: http://www.prace-project.eu/IMG/pdf/Current_Bottlenecks_in_the_Scalability_of_OpenFOAM_on_http://www.prace-project.eu/IMG/pdf/Current_Bottlenecks_in_the_Scalability_of_OpenFOAM_on_Massively_Parallel_Clusters.pdf
8. **Lysenko D.** Modelling of turbulent separated flows using OpenFOAM [Текст] / D. Lysenko, I. Ertesvåg, K. Rian // Computers & Fluids. –2012.
9. **Gicquel, L.** Large Eddy Simulations of gaseous flames in gas turbine combustion chambers [Текст] / L. Gicquel, G. Staffelbach, T. Poinot // Progress in Energy and Combustion Science. –2012. –Vol. 38. –Iss. 6. –P. 782–817.
10. **Pringle, G.** Porting OpenFOAM to HECToR A dCSE Project. [Электронный ресурс] / G. Pringle // EPCC, The University of Edinburgh, James Clerk Maxwell Building, Mayfield Road, Edinburgh, EH9 3JZ, UK. – Режим доступа: <http://www.hector.ac.uk/cse/distributedcse/reports/openfoam/openfoam/index.html>
11. **Weisenpacher, P.** Computer simulation of fire in a tunnel using parallel version of FDS [Text] / P. Weisenpacher, L. Halada, J. Glasa // Chia Laguna. –Cagliari, Sardinia, Italy, 2011. –11 p.
12. **Wang, Y.** Large eddy simulation of fire plumes [Text] / Y. Wang, P. Chatterjee, J. de Ris // Proc. of the combustion institute. –2011. –Vol. 33. –№ 2. –P. 2473–2480.
13. **Gengembre, E.** Turbulent diffusion flames with large buoyancy effects [Text] / E. Gengembre, P. Cambray, D.Karmed, J.C. Bellet // Combustion Science and Technology. –1984. –Vol. 41. –P. 55–67.
14. **Fureby, C.** Comparative study of subgrid scale models in homogeneous isotropic turbulence [Text] / C. Fureby, G. Tabor, H.G. Weller [et al.] // Physics of Fluids. –1997. –Vol. 9. –№ 5. –P. 1416–1429.
15. **Монаков, А.В.** Оптимизация расчетов в пакете OpenFOAM на GPU [Текст] / А.В. Монаков // Тр. Ин-та системного программирования РАН. –2012. –Т. 22. –С. 223–232.
16. **Васильев, В.А.** Исследование масштабируемости задач вычислительной гидроаэродинамики на различных многоядерных и многопроцессорных архитектурах [Текст] / В.А. Васильев, А.Ю. Ницкий // Вестник УГТУ. –2010. –Т. 14. –№ 5. –С. 126–132.
17. **Снегирев, А.Ю.** Теоретические основы пожара- и взрывобезопасности. Горение перемешанных реагентов [Текст] / А.Ю. Снегирев, В.А. Талалов. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. –212 с.



АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Анализ уровня автоматизации проектирования объектов морской транспортной инфраструктуры как типовых распределенных человеко-машинных систем показывает, что в этих процессах практически не используются методы, основанные на имитационном моделировании объектов проектирования [1].

В настоящее время применение математических моделей для решения задач проектирования даже не предусмотрено существующей нормативной проектной документацией [2]. Однако в США и во многих странах Европы и Азии математические модели функционирования портов применяются уже несколько лет. В Германии, например, «обкатка» на имитационной модели является обязательным завершающим этапом любого наукоемкого проектирования [3, 4].

Как показывает практика, применение математических моделей на стратегическом и тактическом уровнях позволяет автоматизировать, повысить точность и адекватность результатов проектирования. Математическое моделирование позволяет заложить алгоритмы и модели для оптимизации параметров терминала как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации, т. е. заложить основы АСУ ТП [5].

Подход к созданию методики современного математического моделирования портовых терминалов, которая легла бы в основу их проектирования, должен основываться на экспериментах и исследованиях различных морских портов, а математическая модель системы «порт-флот», должна включать модель учета внешних воздействий. В современном мире имеется множество факторов, влияющих на функционирование портового терминала извне: от природных и экологических до экономических, политических, социальных. С точки зрения технологического проектирования первые два являются наиболее важными.

Для моделирования человеко-машинных систем, подобных портовым терминалам, предлагается использовать метод на основе имитацион-

ного моделирования. В такой сложной большой системе, как морской или речной порт, имеются подсистемы, требующие описания с различным уровнем абстракции и детализации. При этом не исключается, что отдельные подсистемы ввиду своей относительной простоты могут быть описаны и аналитически в составе общей комплексной имитационной модели.

Важным аспектом обеспечения адекватности модели порта является повышение качества учета природных воздействий среды его функционирования. Обособленная группа таких показателей – гидрометеорологическая обстановка в регионе. В действующей нормативной документации понятие «неблагоприятные метеоусловия» обобщено и учитывает совокупное воздействие ветра, осадков, тумана и температуры окружающей среды [2].

Для учета гидрометеоусловий, включая и такие показатели, как ледовая и волновая обстановка, ограничение видимости и т. д., необходимо создать соответствующую математическую модель влияния разнообразных воздействий на работу терминала [6]. Создание такой модели, которая органически входила бы в математическое описание системы «флот-порт», представляет серьезную научную и практическую задачу.

Для достижения поставленной цели проведено исследование более десяти морских портов и терминалов различного назначения и устройства, включая контейнерные, угольные, навалочные, генеральных грузов и др.

Современный порт – сложный человеко-машинный объект, при описании которого, по аналогии с другими подобными объектами, наиболее эффективно имитационное моделирование. Порт является распределенным и иерархическим объектом, поэтому при его моделировании логично использование мультиагентного подхода [3].

На этом основании предлагается концепция адаптивной мультиагентной имитационной мо-

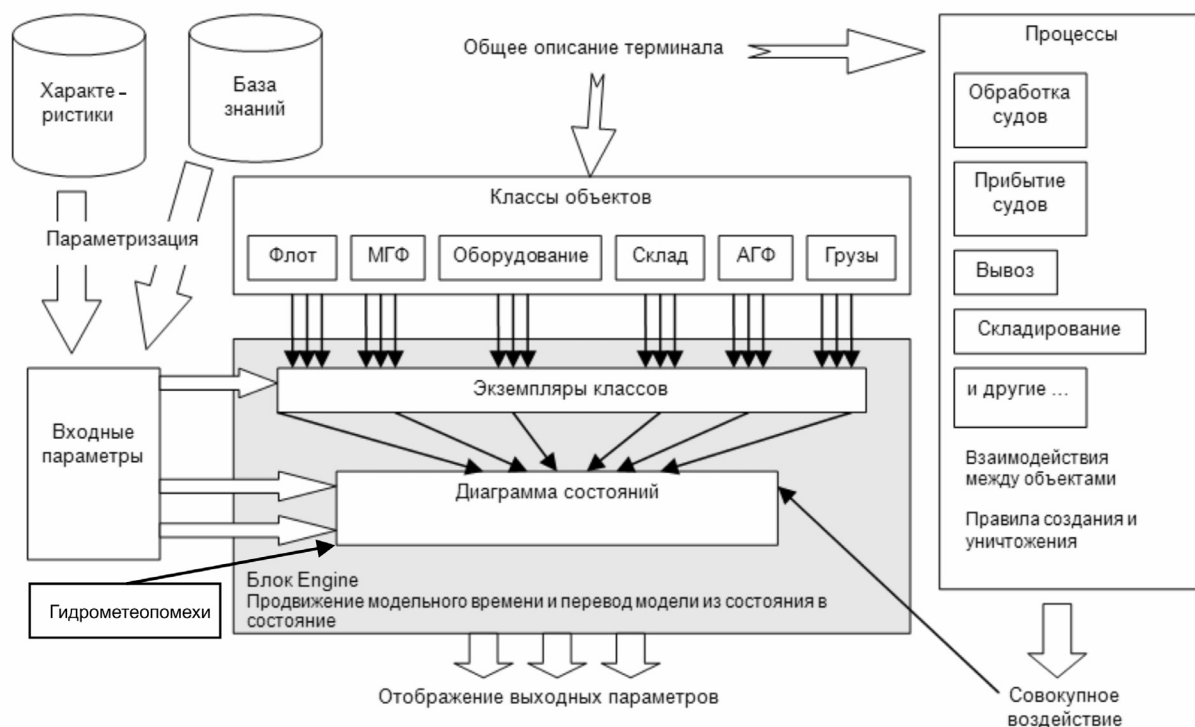


Рис. 1. Схема функционирования имитационной модели

дели системы «флот-порт». Примененный для ее создания объектно-ориентированный подход объясняет суть адаптивности. Описываемая модель является не моделью конкретного порта, а моделью класса портов. Она максимально параметризуема и, следовательно, имеет возможность комбинированием параметров генерировать конкретный экземпляр сущности класса «порт».

Такая концепция сочетает в себе все плюсы имитационного моделирования и традиционных аналитических расчетов. Самое слабое место имитационных моделей вне зависимости от их природы – ограниченность их применения только на том объекте, для описания которого они создавались. Чем лучше модель описывает реальный объект, тем менее она универсальна и, наоборот [5].

Для унификации процесса создания мультипарадигменной модели предлагается применять многоподходное имитационное моделирование в среде AnyLogic®, созданной на основе разработок Политехнического университета и отечественной компании XJ Technologies [7].

Обобщенная схема функционирования имитационной модели представлена на рис. 1.

Для осуществления качественно более совершенного учета гидрометеоусловий проведены ис-

следования климатической обстановки акваторий различных бассейнов. Показано, что гидрометеоусловия, включающие такие влияющие факторы, как ледовая, ветровая и волновая обстановки – воздействуют на эксплуатационные показатели терминала по-разному:

ледовая обстановка затрудняет подход судов, тем самым приводя к появлению неравномерностей в виде временных сгущений и разряжений (формированию «пачек» судозаходов);

ветровая обстановка приводит к необходимости прекращения грузовых операций;

волновая обстановка вызывает невозможность швартовки судна (простой на рейде) или необходимость отшвартовки и ухода на рейд (прерывание грузовых операций и простой на рейде).

С учетом этих факторов разработана математическая модель гидрометеорологической обстановки порта, входящая в состав адаптивной имитационной модели системы «флот-порт». Идея механизмов реализации воздействия помех заключается в том, что метеопомехи, по сути, останавливают работу либо порта в целом, либо отдельных его компонент (подход судов к причалу, швартовка, погрузочно-разгрузочные работы). Многообразие законов распределения, описывающих интервалы между возникновением помех



Рис. 2. Сравнение результатов методик

и их продолжительности, позволяет смоделировать любые погодные условия.

На рис. 2 представлены значения пропускной способности угольного терминала в порту Ванино, полученные с применением различных методик учета гидрометеоусловий. Для сравнения на графике приведено усредненное значение многолетних статистических данных.

Из графика видно, что результаты имитационных экспериментов с математической моделью гидрометеорологической обстановки порта ближе к статистическим данным, чем результаты совокупного учета метеофакторов по статической методике нормативно-технической документации.

Адекватность разработанной имитационной модели доказана рядом экспериментальных исследований существующих терминалов. Практические и теоретические результаты проверены и подтверждены практикой технологического проектирования на реальных объектах. В частности, выполнен анализ расписания контейнерного терминала ПКТ (Большой порт Санкт-Петербург) и сделан вывод о возможности включения в него судозаходов еще одной контейнерной линии. Проведено исследование влияния различных компоновок морского грузового фронта угольного комплекса в бухте Мучка порта Ванино, выявлены недостатки компоновок относительно ледовых условий.

Сравнение результатов этих исследований с традиционным статическим подходом к описанию и проектированию портовых терминалов подтверждает существенное повышение точности расчетов основных технологических и эксплуатационных показателей исследуемых объектов морской транспортной инфраструктуры с учетом различных критериев, а также рост возможностей управления подобными человеко-машинными системами с целью получения оперативного ответа на вопрос «А что, если ...?».

Результаты применения методики свидетельствуют об адекватности и эффективности модели и позволяют рекомендовать ее использование для проектирования морских терминалов и других подобных объектов, например, транспортно-логистических систем.

В настоящее время прорабатывается возможность применения методов имитационного моделирования для разработки оптимальной структуры грузопотоков металлургического завода. При этом каждый объект, порождающий и поглощающий грузопотоки, может быть представлен описанной в настоящей статье моделью, а связь в общую транспортно-логистическую сеть будет осуществляться за счет грузопотоков, которые являются выходными для одного объекта и одновременно входными для другого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuznetsov, A. Simulation as an integrated platform for container terminal development life-cycle [Text] / A. Kuznetsov, V. Pogodin, Y. Spassky, V. Gleim // In The 7th International Mediterranean and Latin American Modelling Multiconf. –Morocco, Feb. 2010. –P. 159–162.
2. Нормы технологического проектирования морских портов: РД 31.3.05-97 [Текст]. –М.: Гиперокс, 1998.
3. Павлов, С. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути. Интервью Р.М. Юсупова, чл.-корр. РАН, директора СПИИРАН

[Текст] / С. Павлов // CAD/CAM/CAE Observer. –2012. –№2 (70). –С. 10–18.

4. Simulation of Container Unit Handling Systems [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.scusy.isl.org/>

5. Спасский, Я.Б. Изучение универсальности применения имитационной модели морского грузового фронта контейнерного терминала [Текст] / Я.Б. Спасский, Е.И. Игнатова // Матер. конф. XXXVIII неделя науки СПбГПУ. –СПб.: Изд-во Политех. ун-та,

2009. –31 с.

6. Кузнецов, А.Л. Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий [Текст] / А.Л. Кузнецов, Я.Б. Спасский, В.А. Погодин // Эксплуатация морского транспорта: ежеквартальный сб. науч. статей. –2011. –№ 1 (63). –С. 3–8.

7. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю.Г. Карпов. –СПб.: БХВ-Петербург, 2005. –400 с.

УДК 621.313.3

Ю.А. Голландцев, В.Г. Иванов, С.Н. Турусов

ОБРАЩЕННЫЕ ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ВЫСОКОКОЭРЦИВНЫМИ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В системах автоматического управления и робототехники широко используются обращенные конструкции исполнительных электродвигателей, в которых неподвижный статор располагается внутри электрической машины, а внешний вращающийся ротор жестко связан с приводимым механизмом. Данное конструктивное исполнение в безредукторных системах управления позволяет создать компактное электромеханическое устройство с высокими эксплуатационными характеристиками. В качестве приводных механизмов используются следящие системы, оптико-механические блоки, вентиляторы, приводы типа «мотор-колесо» и т. д.

Из существующих типов электрических двигателей наилучшими статическими и динамическими характеристиками обладают вентильные двигатели (ВД) с возбуждением от высококоэрцитивных постоянных магнитов традиционного конструктивного исполнения: неподвижный внешний статор и вращающийся внутренний ротор [1]. Обращенные конструкции двигателей используются редко, т. к. характеризуются значительными потоками рассеяния постоянных магнитов, размещенных на внешнем вращающемся роторе, что приводит к уменьшению электромагнитного момента двигателя при сохранении основных геометрических размеров.

Для повышения энергетических и динами-

ческих характеристик обращенных вентильных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов необходимо изменить систему возбуждения, которую можно выполнить как индуктор однородного магнитного поля по системе Хальбаха [2]. В обращенном вентильном двигателе магнитное поле возбуждения формируется из предварительно намагниченных и раскроенных сегментов высококоэрцитивных магнитов [3].

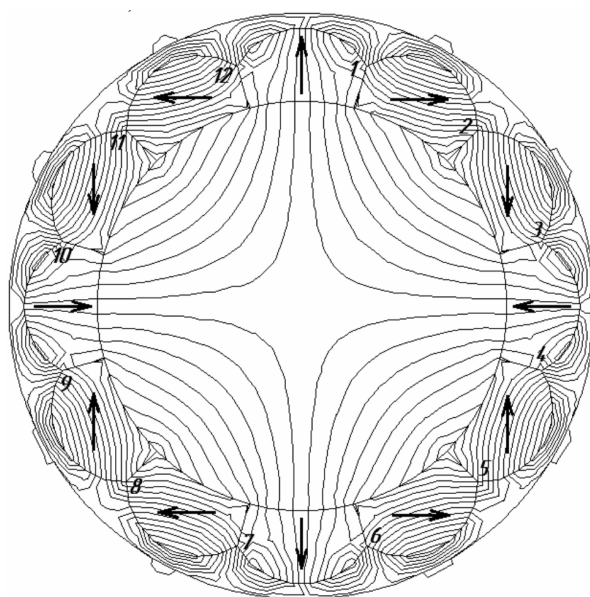


Рис. 1. Эскиз внешней магнитной системы возбуждения обращенного ВД

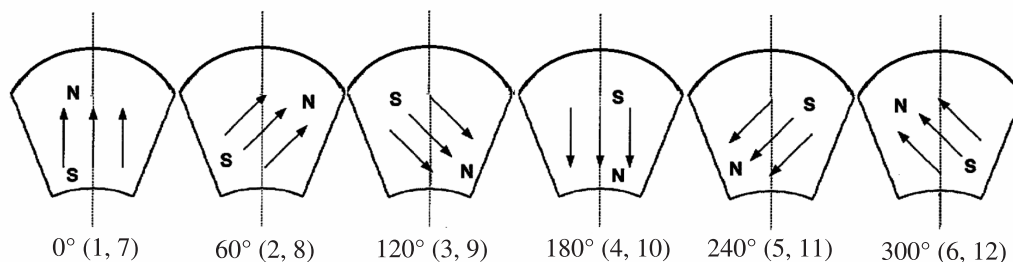


Рис. 2. Схема раскроя сегментов постоянных магнитов

Количество сегментов и направление намагничивания каждого сегмента выбирается из условия получения однородного поля внутри цилиндра, число пар полюсов которого соответствует числу пар полюсов обмотки статора.

Эскиз поперечного сечения магнитной системы Хальбаха в обращенном вентильном двигателе без внутреннего статора с трехфазной рабочей обмоткой приведен на рис. 1.

Количество сегментов и направление намагничивания каждого сегмента определяют характеристики сформированного магнитного поля. Магнитная система состоит из 12 сегментов, направление намагничивания каждого из них обозначено на рисунке. Представлена картина магнитного поля сборного внешнего ротора, составленного из 12 сегментов и указанного направления намагничивания сегментов, угол намагничивания сегментов зависит от местоположения

сегмента в обойме и определяется в соответствии с формулой:

$$\alpha_{\text{НС}} = 90^\circ (N - 1), \quad (1)$$

где N – порядковый номер сегмента в обойме. Угол отсчитывается от вертикальной оси по часовой стрелке.

Схема раскроя постоянных магнитов приведена на рис. 2. На каждом сегменте указано направление намагничивания исходного цилиндра постоянного магнита, в зависимости от места каждого сегмента в обойме различаются конфигурации раскроя отдельных сегментов

Подтвердить эффективность предлагаемого решения можно с помощью математического моделирования в программном пакете Elcut, предназначенном для решения задач формата 2D. В качестве исходного двигателя выберем ВД с возбуждением от постоянных магнитов традицион-

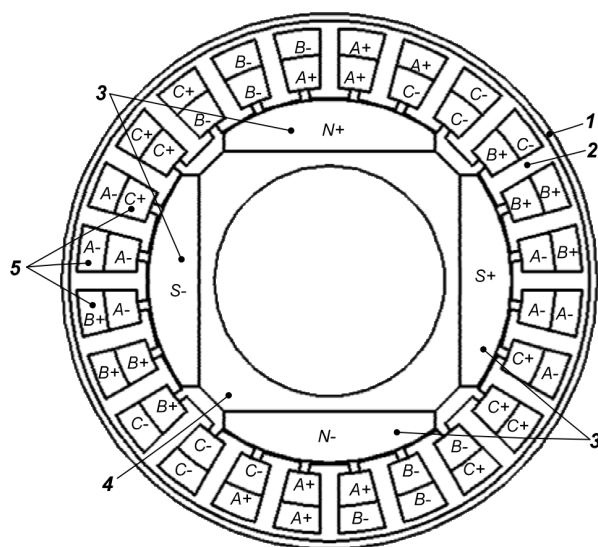


Рис. 3. Поперечное сечение исходного двигателя ДБМ-140 с традиционной системой возбуждения 1 – корпус двигателя; 2 – внешний статор; 3 – постоянные магниты; 4 – внутренняя втулка ротора; 5 – А, В и С – фазные обмотки трехфазной обмотки статора

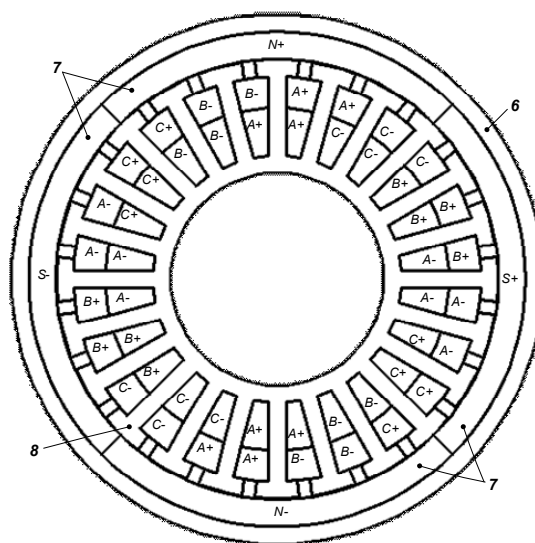


Рис. 4. Поперечное сечение обращенного ВД с традиционной системой возбуждения 6 – корпус двигателя; 7 – постоянные магниты возбуждения; 8 – внутренний статор с трехфазной обмоткой

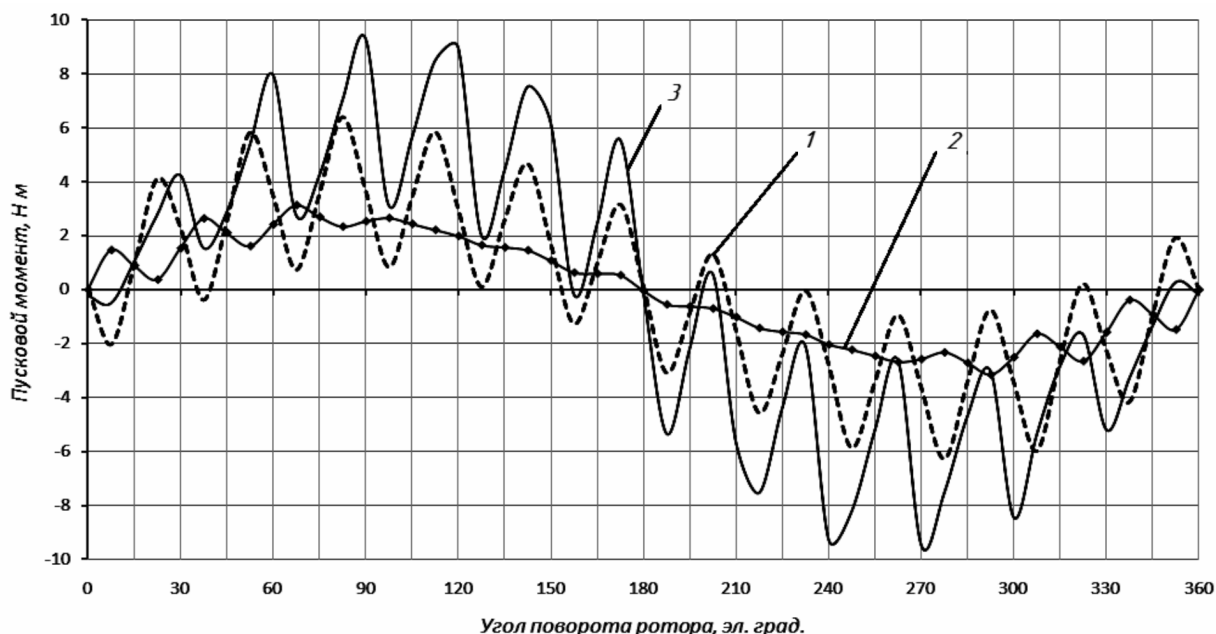


Рис. 5. Графики распределения момента в сравниваемых конструкциях ВД
1 – традиционная конструкция и традиционная схема возбуждения; 2 – в обращенном ВД с традиционной схемой возбуждения; 3 – в обращенном ВД с возбуждением по схеме Хальбаха

ного исполнения ДБМ-140 производства ОАО «Машиноаппарат» [5]. На рис. 3 приведен эскиз поперечного сечения вентильного двигателя с традиционной схемой возбуждения ДБМ-140. На рис. 4 изображен эскиз поперечного сечения обращенного вентильного двигателя с традиционной схемой возбуждения от постоянных магнитов.

Исходный ВД традиционного исполнения с традиционной схемой возбуждения от постоянных магнитов (ТВД-ТСВ), у которого внешний неподвижный статор имеет трехфазную обмотку со следующими параметрами: число зубцов статора $Z_1 = 24$, число пар полюсов $2p = 2$; на внутреннем вращающемся роторе размещены четыре полюса постоянных магнитов.

При сохранении основных геометрических размеров ДБМ-140 рассчитаем обращенный вентильный двигатель с традиционной схемой воз-

буждения (ОВД-ТСВ), у которого ротор с постоянными магнитами является внешним, а статор, на котором размещена трехфазная обмотка, внутренним. Дополнительным условием замены в сравниваемых ВД является равенство МДС обмоток статора, а также равенство МДС и объемы постоянных магнитов. Третьим конструктивным исполнением является обращенный вентильный двигатель, система возбуждения которого выполнена по схеме Хальбаха (ОВД-МСХ).

В качестве критерия сравнения выберем распределение пускового момента по углу поворота ротора. Моделирование выполнялось в программном пакете Elcut, достоверность и адекватность получаемых при этом результатов общеизвестна. Результаты получены при длительности работы транзисторов вентильного коммутатора в течении $\lambda = 120$ эл. град. и плотности тока в обмотках статора $J = 10$ А/мм². На рис. 5 приведены

Характеристики пускового момента в ВД

Параметр	Конструктивное исполнение ВД		
	ТВД-ТСВ	ОВД-ТСВ	ОВД-МСХ
Амплитуда основной гармоники пускового момента, Нм	3,65	2,6	6,53
Среднее значение пускового момента, Нм	3,4	2,43	6,07
Пульсации пускового момента	0,074	0,072	0,077
Амплитуда зубцовой гармоники пускового момента, Нм	2,16	0,25	1,89

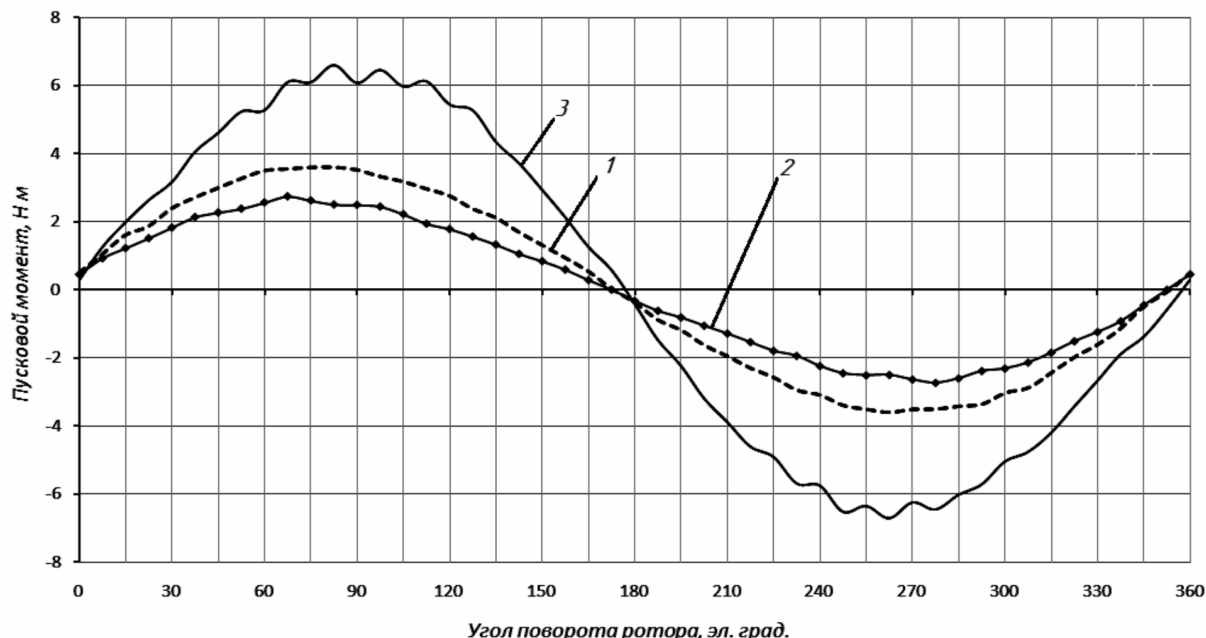


Рис. 6. Графики распределения момента по расточке статора при компенсации зубцовых гармоник

результаты моделирования распределения пускового момента в ВД.

Кривые распределения пускового момента по расточке статора/ротора для любого конструктивного исполнения ВД и способа возбуждения содержат основную гармонику и зубцовую гармонику (в данном случае это двенадцатая гармоника), наличие которой определяется изменением магнитной проводимости зубцов статора. В таблице представлены значения моментов в ВД, рассматриваемых конструктивных исполнений.

Искажение распределения пускового момента за счет пульсаций магнитной проводимости зубцового слоя увеличивает статическую и динамическую ошибки следящей системы, в которой используется ВД. В рассматриваемых ВД компенсация влияния зубцовых гармоник достигается за счет изменения конструкции ротора как внешнего, так и внутреннего исполнения.

Для компенсации влияния зубцовых гармоник в рассматриваемой конструкции ВД ротор предлагается изготовить из двух равных частей в

продольном направлении и развернутых друг относительно друга в поперечном направлении на половину зубцового деления статора. Полученные результаты моделирования распределения пускового момента для ВД, у которых ротор выполнен из двух смещенных частей, доказывают правомерность предлагаемого технического решения. На рис. 6 приведены графики распределения пускового момента в ВД с компенсацией зубцовых гармоник.

Приведенные результаты математического моделирования подтверждают эффективность предложенных решений:

изменение конструкции магнитной системы возбуждения приводит к увеличению значения пускового момента в обращенном ВД с возбуждением по схеме Хальбаха почти в 1,78 раз для рассмотренного примера;

предложенный технологичный способ компенсации зубцовых гармоник устраняет пульсации в кривой распределения момента по расточке статора/ротора на приемлемом уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность): Курс лекций [Текст] / И.Е. Овчинников. – СПб.: КОРОНА-Век, 2006. – 336 с.

2. Merritt, B.T. Halbach Array Motor/Generators – A Novel Generalized Electric Machine [Text] / B.T. Merritt, R.F. Post, G.R. Dreifuerst, D.A. Bender // Lawrence Livermore National Laboratory. – Berkeley, CA, 1995.

3. **Афанасьев, В.А.** Индуктор однородного магнитного поля [Текст] / В.А. Афанасьев, Ю.А. Голландцев [и др.] // Патент RU 2 305 357 C1. 27. 08. 2007 Бюл. 24.

4. **Голландцев, Ю.А.** Обращенный вентильный двигатель [Текст] / Ю.А. Голландцев, О.А. Лозо-

вицкая [и др.] // Положительное решение на заявку № 2011121097/07(031224) от 25.05. 2011. ГОУ ВПО «СПбГПУ», RU.

5. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mashap.maverick.ru/rus/dv/2-140-2,5-0,5-3.html>

УДК 519.584

М.П. Кузнецов, В.В. Стрижов, М.М. Медведникова

АЛГОРИТМ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ, ОПИСАННЫХ В РАНГОВЫХ ШКАЛАХ

Рассматривается задача построения интегрального индикатора в ранговых шкалах [1–3]. В качестве практического приложения изучается проблема определения статуса угрожаемых видов животных, входящих в список Красной книги РФ [4]. В Красной книге РФ принята следующая категоризация редкости видов (таксонов) по степени угрозы их исчезновения. Имеется шесть различных категорий статуса (меток классов) таксонов: вероятно исчезнувшие; находящиеся под угрозой исчезновения; сокращающиеся в численности; редкие; неопределенные по статусу; восстанавливающиеся. Эта категоризация является монотонной: метки классов ранжированы по возрастанию биологического разнообразия. Назначение категории таксона может быть выполнено одним из методов согласования экспертных оценок [7, 8] или путем аналитического вычисления категории на основе его описания, с учетом предложенной аналитикой модели [9].

Каждый таксон описан набором признаков, отражающих его состояние. Эксперт, владеющий информацией о таксоне, выставляет оценку для каждого признака в ранговой шкале. Таким образом, задана матрица «объект-признак», состоящая из описаний таксонов и вектор-меток классов таксонов. Требуется построить модель, восстанавливающую класс таксона из Красной книги РФ по его описанию.

Задача ревизии Красной книги РФ и построения модели вычисления интегрального индикатора – актуальна из-за постоянного пополнения Книги новыми записями о таксонах. Ранее был предложен ряд алгоритмов решения данной задачи [3, 7]. Так как эти решения не включают про-

цедуру выбора наиболее информативных признаков, ниже предлагается поставить и решить задачу нелинейной коррекции экспертных оценок.

Постановка задачи

Задано множество $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}$, $i \in \mathcal{I} = \{1, \dots, m\}$ пар. Каждая пара состоит из описания объекта x_i (таксона) и соответствующей ему метки класса y_i (категории статуса таксона).

Описание объекта $x = [\chi_1, \dots, \chi_j, \dots, \chi_n]$, $j \in \mathcal{J} = \{1, \dots, n\}$ – это набор экспертных оценок признаков. Оценки объектов по признакам выставлены в ранговых шкалах. Каждый признак имеет собственную ранговую шкалу $\mathbb{L}_j$, состоящую из упорядоченных элементов $\mathbb{L}_j = \{1 < 2 < \dots < k_j\}$. Значение класса также принадлежит упорядоченному множеству $\mathbb{L}_0 = \{1 < 2 < \dots < k_0\}$.

Рассмотрим постановку задачи многоклассовой классификации в ранговых шкалах, включающую криволинейную модель $f(w, x_i)$ и соответствующую ей вектор-функцию $f(w, X) = [f(w, x_1), \dots, f(w, x_m)]$ с матрицей описаний $X = [x_1, \dots, x_i, \dots, x_m^T]$ и зависимой переменной $y = [y_1, \dots, y_i, \dots, y_m]$, где $w = [w_1, \dots, w_s]$ – параметры модели. Эта модель должна доставлять минимум заданной функции ошибки $S(f(w, X), y)$.

Криволинейная модель $f(w, x_i)$ имеет вид

$$f(w, x_i) = \xi(b_0, h(w, x_i)), \quad (1)$$

$$h(w, x_i) = \sum_{j \in \mathcal{J}} u_j g(b_j, x_{ij}). \quad (2)$$

где вектор параметров $w = [b_0; b_1; \dots; b_n; u] = [b_0^T, b_1^T, \dots, b_n^T, u^T]^T$ состоит из векторов b_j – параметров монотонной коррекции j -го при-

знака χ_j и весовых коэффициентов признаков $u = [u_1, \dots, u_j, \dots, u_n]^T$. Функция g монотонной коррекции задана следующим образом:

$$g(b_j, \chi) : \chi \mapsto b_j = \begin{cases} 1 \mapsto b_{j1}, \\ 2 \mapsto b_{j2}, \\ \dots \\ k_j \mapsto b_{jk_j}. \end{cases}$$

При этом соблюдается условие монотонности параметров:

$$\text{Ord}(b_j) : 0 < b_{j1} < b_{j2} < \dots < b_{jk_j} < 1 \text{ для } j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\text{и } \text{Ord}(b_0) : b_{01} < b_{02} < \dots < b_{0k_0}.$$

Функция $\xi(b_0, h(w, x_i))$ определяет для числа $h(w, x_i)$ ближайшую по модулю компоненту вектора b_0 :

$$\xi(b_0, h(w, x_i)) = \arg \min_{j \in \mathcal{J}} |b_{0j} - h(w, x_i)|.$$

Введя обозначение для матрицы скорректированных экспертных оценок

$$G = [g_{ij}] = [g(b_j, x_{ij})], \quad i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{J},$$

перепишем (1) и (2) в виде модели интегрального индикатора

$$f(w, x_i) = \xi(b_0, [Gu]_i). \quad (4)$$

Назначим функцией ошибки модели сумму квадратов регрессионных остатков $S(w) = \|f(w, X) - y\|_2^2 + \lambda \|u\|_2^2$, включающую регуляризующее слагаемое с фиксированным коэффициентом λ , где $\hat{w}$ и $\hat{u}$ – параметры, которые необходимо оценить.

Оценивание параметров модели

Оценивание параметров w модели f выполняется итеративно. Перед началом итераций значения векторов $b_0, b_1, \dots, b_n$ назначены таким образом, что функция g является тождественной, $g = \text{id}$. Оценивание параметров выполняется в три шага. Сначала при фиксированных значениях векторов $\hat{b}_0, \dots, \hat{b}_n$ оцениваются весовые коэффициенты

$$\hat{u} = \arg \min_{u \in \mathbb{R}^n} S([\hat{b}_0; \dots; \hat{b}_n; u]).$$

Затем при фиксированных значениях коэффициентов $\hat{u}$ оцениваются параметры монотонной коррекции

$$[b_1; \dots; b_n] = \arg \min_{b_1, \dots, b_n} S([\hat{b}_0; \dots; \hat{b}_n; u])$$

с учетом требования монотонности (3) значений этих параметров. На последнем этапе оценивается вектор b_0 : $b_0 = \arg \min_{b_0} S([\hat{b}_0; \dots; \hat{b}_n; u])$

Итерации выполняются до стабилизации функции ошибки S .

Рассмотрим эти три этапа более подробно. За начальное приближение примем столбцы матрицы G :

$$\hat{G} = [g(\hat{b}_1, \chi_1), \dots, g(\hat{b}_n, \chi_n)] = [\chi_1, \dots, \chi_n],$$

поскольку, как было сказано выше, $g = \text{id}$, и вектор $\hat{y} = y$. Таким образом, векторы $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_n$ в начальном приближении в качестве элементов содержат элементы множеств $\mathbb{L}_0, \mathbb{L}_1, \dots, \mathbb{L}_n$.

Шаг 1. Найдем $\hat{u}$ при фиксированных значениях $\hat{b}_0, \dots, \hat{b}_n$:

$$\hat{u} = \arg \min_u \|\hat{y} - \hat{G}u\| + \lambda \|u\|.$$

Решение на шаге 1 имеет вид:

$$\hat{u} = (\hat{G}^T \hat{G} + \lambda I)^{-1} \hat{G}^T \hat{y}.$$

Шаг 2. При фиксированных $\hat{b}_0, \hat{u}$ оценим скорректированную матрицу описаний $G = [g(b_1, \chi_1), \dots, g(b_n, \chi_n)] = [g_1, \dots, g_n]$

Для каждого $g_j \in \mathbb{R}^m$ будем вычислять вектор $\hat{g}_j$, являющийся монотонной коррекцией исходного вектора g_j :

$$\begin{cases} [\hat{g}_1, \dots, \hat{g}_n] = \arg \min \|\xi(b_0, \hat{G}\hat{u}) - \hat{y}\|_2^2, \\ \text{из } g_{ij_1} \leq g_{ij_2} \text{ следует } \hat{g}_{ij_1} \leq \hat{g}_{ij_2} \quad i \in \mathcal{I}, j_1, j_2 \in \mathcal{J}, \\ g_{ij} \in [0, 1] \quad i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{J}, \text{ согласно (3)}. \end{cases}$$

По векторам $\hat{g}_1, \dots, \hat{g}_n$ затем однозначно восстанавливаются векторы $\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_n$ как упорядоченные векторы, содержащие различные элементы $\hat{g}_1, \dots, \hat{g}_n$. Для решения этой задачи используется алгоритм градиентного спуска.

Шаг 3. При фиксированных $\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_n, \hat{u}$ оценим вектор b_0 и $\hat{y} = g(b_0, y)$:

$$\hat{b}_0 = \arg \min_{b_0} \|\xi(b_0, \hat{G}\hat{u}) - g(b_0, y)\|_2^2.$$

Выбор признаков при классификации

Так как число объектов в данной задаче, определенное составом Красной книги РФ, сопоставимо с числом признаков, необходимо выбрать наиболее информативные признаки. Множество индексов признаков, включенных в модель, назовем активным набором и обозначим $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{J}$.

Поставим задачу выбора наиболее информативных признаков следующим образом. Разобьем выборку $\mathcal{D}$ на две подвыборки, обучающую и тестовую. Обозначим индексы элементов этих подвыборок соответственно $\mathcal{L} \sqcup \mathcal{T} = \mathcal{I}$. Для не-

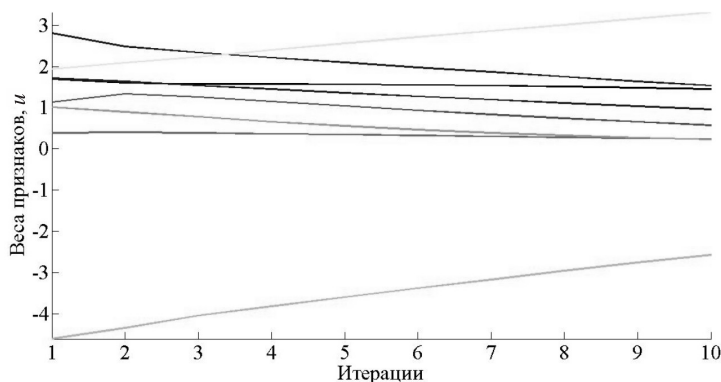


Рис. 1. Изменение весов признаков

которого активного набора признаков $\mathcal{A}$ найдем на обучающей подвыборке $\mathcal{D}_c$ оптимальные, согласно заданной функции ошибки S , параметры $\hat{w}_{\mathcal{A}}$, $w_{\mathcal{A}} =_{\text{argmin}} S(w_{\mathcal{A}} | \mathcal{D}_c)$

Затем выберем наиболее информативные признаки – активный набор $\hat{\mathcal{A}}$ по всем поднаборам индексов признаков $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{J}$, доставляющий на тестовой выборке $\mathcal{D}_c$ минимум функции ошибки: $\hat{\mathcal{A}} =_{\text{argmin}}_{\mathcal{A} \subseteq \mathcal{J}} S(\hat{w}_{\mathcal{A}} | \mathcal{D}_T)$

Для выбора наиболее информативного подмножества признаков используется итеративный алгоритм добавления признаков.

На первом шаге этого алгоритма принимается активное множество информативных признаков $\hat{\mathcal{A}} = \emptyset$. На каждом следующем шаге к множеству $\hat{\mathcal{A}}$ добавляется признак с индексом $\hat{j}$, такой, что $\hat{j} = \underset{j \in \mathcal{J} \setminus \hat{\mathcal{A}}}{\text{argmin}} S(\hat{w}_{\hat{\mathcal{A}} \cup \{j\}} | \mathcal{D}_T)$.

Эта процедура продолжается итеративно до тех пор, пока значение функции ошибки S на контрольной выборке $\mathcal{D}_T$ не достигнет минимума.

Вычислительный эксперимент

Работа алгоритма иллюстрируется данными

из Красной книги РФ. Экспертами заполнена таблица данных для 29 различных объектов. Каждый объект описывается 102 признаками. Отобрано восемь наиболее информативных признаков. В качестве функции ошибки классификации принимается величина

$$Q = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S(f(w_{\mathcal{D}_i}, X_{T \setminus i}), y_i),$$

где $w_{T \setminus i}$ – вектор параметров, оцененный по всей выборке без учета i -го объекта, а $X_{T \setminus i}$ – матрица X , в которой исключена i -я строка. Эта метрика представляет собой среднюю ошибку классификации на всех объектах выборки, ее значение составило $Q^0 = 0,75$.

На рисунках представлены графики изменения параметров относительно итераций алгоритма. На рис. 1 показано изменение весов регрессии u , на рис. 2 – изменение элементов вектора b_0 . По оси абсцисс отложено количество итераций, по оси ординат – количественное значение каждого признака. Прекращение изменений наблюдается на десятой итерации.

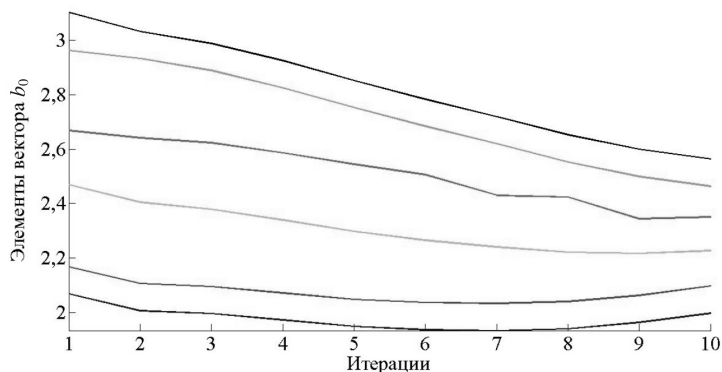


Рис. 2. Изменение элементов вектора параметров b_0

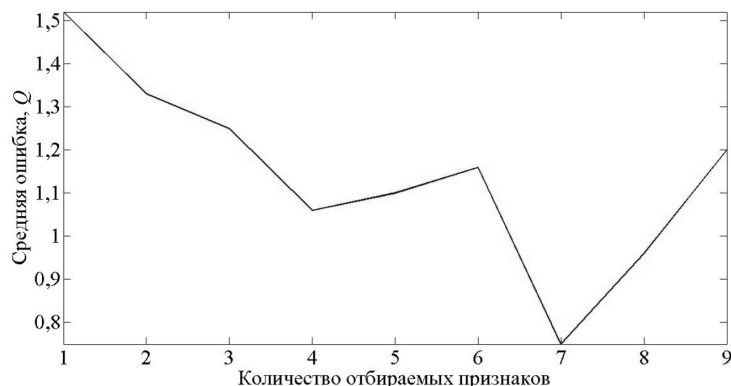


Рис. 3. Зависимость функции ошибки от количества выбираемых признаков

На рис. 3 показана зависимость функции ошибки от количества выбираемых признаков. Видно, что ее минимум достигается при семи признаках, и значение средней ошибки равно $Q^0 = 0,75$.

Предложен метод построения рангового интегрального индикатора на примере задачи категоризации таксонов Красной книги РФ. Данный

метод отличается от обычной задачи восстановления регрессии тем, что исходные данные представлены в ранговых шкалах и корректируются в процессе вычисления интегрального индикатора. Предложен алгоритм отбора наиболее информативных признаков. С помощью этого алгоритма получена адекватная модель получения категорий новых таксонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стрижов, В.В.** Уточнение экспертных оценок с помощью измеряемых данных [Текст] / В.В. Стрижов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. –2006. –Т. 72 (7). –С. 59–64.
2. **Strijov, V.V.** Integral indicator of ecological impact of the Croatian thermal power plants [Text] / V.V. Strijov [et al.] // Energy. –2011. –Vol. 36 (7). –P. 4144–4149.
3. **Стрижов, В.В.** Уточнение экспертных оценок, выставленных в ранговых шкалах, с помощью измеряемых данных [Текст] / В.В. Стрижов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. –2011. –Т. 77 (7). –С. 72–78.
4. Красная книга Российской Федерации (животные). –М.: АСТ Астрель, 2001.
5. **Литвак, Б.Г.** Экспертная информация: Методы получения и анализа [Текст] / Б.Г. Литвак. –М.: Радио и связь, 1982.
6. **Орлов, А.И.** Организационно-экономическое моделирование. Экспертные оценки [Текст] / А.И. Орлов. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. –2011.
7. **Kotlowski, W.** Rule learning with monotonicity constraints [Text] / W. Kotlowski // Proc. of the 26th Annual International Conf. on Machine Learning. –2009. –Vol 382. –68 p.

УДК 004.451.34

Т.К. Филиппов

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Основная задача технического анализа экономических данных – исследование динамики рынков (форекс, акции, фьючерсы и др.), чаще всего посредством графиков. Данная работа характеризуется сложной геометрией, большим объемом

вычислительных задач, связанных прежде всего с ее многомерностью. Организация и управление вычислительными процессами в этих условиях требуют наглядного представления информации – визуализации, позволяющей принимать ре-

шения о детализации вычислений данных в тех или иных областях параметров. Типичным примером тому служат задачи макро- и микроэкономики, в частности, исследований ценовой динамики рынка.

В настоящее время наблюдается активный переход к цифровым формам представления сигналов, их цифровой обработке, хранению и передаче. Этот процесс затронул и сигналы изображений (мультимедийных данных), что обусловлено развитием информационных технологий и важной ролью визуальной информации во многих сферах человеческой деятельности. Однако цифровая форма представления сигналов изображений требует больших объемов данных, вследствие чего получаемые в результате оцифровки файлы имеют очень большие размеры.

Для увеличения эффективности сжатия изображений разработаны принципиально новые методы сжатия, допускающие некоторые потери информации, согласованные со зрительной системой человека. Применение таких методов позволило достигать существенных значений коэффициентов сжатия. Такие методы принято относить к классу методов сжатия «с потерями».

Программное вейвлет-преобразование данных

При решении задачи локального вейвлет-анализа данных предполагается применение дискретного вейвлет-преобразования одномерного сигнала на примере вейвлет-базиса Хаара и быстрого алгоритма дискретного ортогонального вейвлет-разложения С. Малла. Замена конструкции предполагает ее трансформацию от иерархической схемы вычислений, используемой в известных алгоритмах, к схеме, в которой вычисление коэффициентов для вейвлетов каждого уровня производится последовательно для всех его позиций на цифровом сигнале в рекурсивном режиме [1, 4].

Данное изменение вычислительной конструкции вейвлет-преобразования позволяет отойти от «блочного» характера вычислений [3], который обычно приводит либо к избыточной в вычислительном плане схеме последовательного вычисления вейвлет-преобразования, либо к снижению качественных показателей анализа.

Имея заданный сигнал $f(t)$, необходимо знать его частотную характеристику локально во времени. Обычное преобразование Фурье дает пред-

ставление о частотных характеристиках, но информацию, касающуюся временной локализации составляющих спектра трудно извлечь из этих характеристик. Для решения данной задачи используется оконное преобразование Фурье с помощью дополнительной функции – окна, которая может смещаться по оси времени, однако и это не всегда может дать положительные результаты. Формула, определяющая одномерное вейвлет-преобразование, имеет вид:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где a и b – вещественные числа; Ψ – некоторая функция, называемая *материнским вейвлетом*, а функция-вейвлет:

$$\Psi^{a,b} = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right). \quad (2)$$

В дискретной форме используем преобразование:

$$W_f(m, n) = a_0^{-m/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi(a_0^{-m} t - nb_0) dt. \quad (3)$$

Рекурсивно волновое сжатие – вейвлет-сжатие – это сжатие с использованием всплесков. В отличие от Фурье анализа и ДКП всплески определены лишь на части области задания аргумента и могут рассматриваться как отличающиеся по масштабу и местоположению реплики единственной базовой функции, называемой *порождающей* или *материнской функцией*. Самая простая идея алгоритма заключается в том, чтобы сохранять в файл разницу между средними значениями соседних блоков в изображении. Обычно она принимает значения, близкие к нулю.

Так, два числа a_{2i} и a_{2i+1} можно представить в виде $b_i^1 = (a_{2i} + a_{2i+1}) / 2$, $b_i^2 = (a_{2i} - a_{2i+1}) / 2$, и аналогично последовательность a_i может быть попарно переведена в последовательность b_j^i . Данное преобразование можно применять последовательно несколько раз к результатам предыдущего преобразования. Для двухмерного случая (квадрата из четырех точек с яркостями $a_{2i,2j}$, $a_{2i,2j+i}$, $a_{2i+i,2j}$, $a_{2i+i,2j+i}$) наипростейшим преобразованием может быть преобразование следующего вида:

$$\begin{aligned} b_{i,j}^1 &= (a_{2i,2j} + a_{2i+1,2j} + a_{2i,2j+1} + a_{2i+1,2j+1}) / 4, \\ b_{i,j}^2 &= (a_{2i,2j} + a_{2i+1,2j} - a_{2i,2j+1} - a_{2i+1,2j+1}) / 4, \\ b_{i,j}^3 &= (a_{2i,2j} + a_{2i+1,2j} + a_{2i,2j+1} - a_{2i+1,2j+1}) / 4, \\ b_{i,j}^4 &= (a_{2i,2j} + a_{2i+1,2j} - a_{2i,2j+1} + a_{2i+1,2j+1}) / 4. \end{aligned} \quad (4)$$

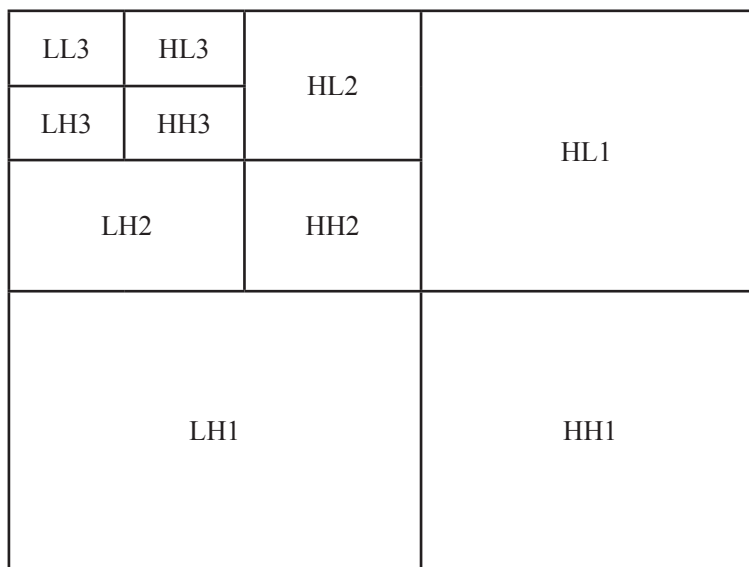


Рис. 1. Трехуровневое вейвлет-преобразование изображения

Используя данное преобразование, исходное изображение преобразуется в четыре субизображения, к каждому из которых данное преобразование можно применить повторно. Таким образом, основная идея вейвлет-преобразования сигнала состоит в иерархическом разложении входного сигнала на последовательности базовых компонент с последовательно уменьшающимся разрешением и связанных с ними компонент деталей. На каждом уровне разложения базовая компонента и компонента деталей содержат информацию, необходимую для восстановления базового сигнала на следующем уровне с более высоким разрешением.

При выполнении двумерного вейвлет-анализа с использованием преобразования Хаара (4) для разложения изображения вначале выполняется разложение по строкам, а затем по столбцам. Результат разложения – четыре матрицы ННО, НЛО, ЛНО, ЛЛО, соответствующие фильтрации фильтром $hi(n)$ по строкам и столбцам, фильтром $hi(n)$ по строкам и фильтром $ho(n)$ по столбцам, фильтром $ho(n)$ по строкам и фильтром $hi(n)$ по столбцам, и фильтром $ho(n)$ по строкам и столбцам. Далее низкочастотная матрица ЛЛО подвергается вейвлет-разложению. Результат – матрицы НН1, НЛ1, ЛН1, ЛЛ1. Такое разложение повторяется n раз, как показано на рис. 1. Результат разложения – набор из $3n+1$ матриц уменьшающейся размерности. Каждая матрица подвергается скалярному или векторному квантованию и последующему кодированию.

Высокочастотные матрицы (матрицы деталей) после квантования содержат большое число нулевых элементов. Одним из широко используемых методов кодирования матриц деталей является кодирование длин серий нулей и следующих за ними значений кодом Хаффмана. Низкочастотные матрицы непосредственно кодируются кодом Хаффмана.

Изменение вычислительной конструкции в параллельную или параллельно-рекурсивную форму, которая хорошо приспособлена к задаче локального «скользящего» анализа цифровых сигналов и изображений [1, 2], приводит, в частности, к существенному снижению сложности обработки. Подбор коэффициентов сжатия позволил получить приемлемые результаты для последующей работы с данными, несмотря на

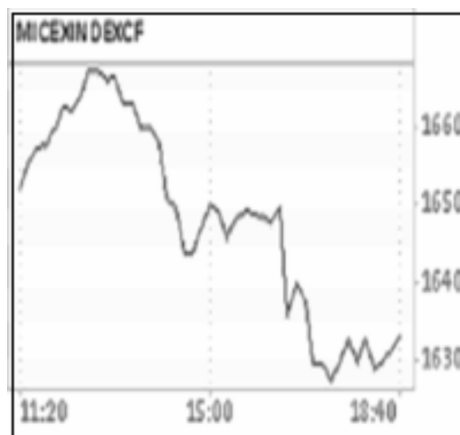


Рис. 2. Исходное изображение

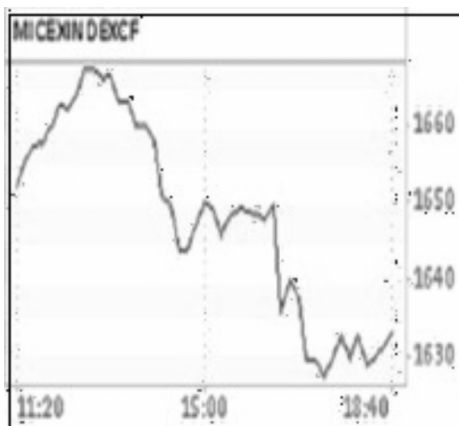


Рис. 3. Выходное изображение
(вейвлет-преобразование)

появившиеся артефакты (искажения, вызванные обработкой).

На рис. 2 и 3 представлены входные и выходные данные одного из экспериментов по подбору коэффициентов вейвлет-преобразования, который позволил получить приемлемый для последующей работы с изображением результат сжатия, равный 27,2 раза. При сжатии без потерь коэффициент сжатия составил 7,4 раза.

На рис. 3 после применения сжатия появляются искажения (артефакты), возникшие в результате вейвлет-преобразования изображения, но как видно, сами данные на графике читаемы и вполне пригодны для дальнейшей работы с ними: применения инструментов технического анализа экономических данных.

Для увеличения эффективности сжатия изображений были применены принципиально новые методы сжатия, допускающие некоторые потери информации, согласованные со зрительной системой человека.

Применение таких методов позволило достичь существенных значений коэффициентов сжатия. Такие методы принято относить к классу методов сжатия «с потерями». Однако в ряде

областей техники применение современных методов компрессии изображений «с потерями» оказалось сильно ограничено, а в некоторых случаях и неприемлемо, что связано с недопустимым уровнем вносимых при кодировании ошибок, либо с эффектом визуализации ошибок, например, в результате их накопления в процессе цифровой обработки. Данная область – технический анализ экономических данных – один из лучших примеров применения метода сжатия данных с потерями, несмотря на появляющиеся в ходе экспериментов артефакты.

Для решения задачи визуального определения предельно допустимых искажений были определены коэффициенты кодирования, для возможности последующей работы с обработанной информацией.

Выявлено, что эффективность метода сжатия характеризуется числовыми характеристиками, а при оценке сжимаемости конкретным методом должны учитываться особенности изображения: количество различных цветов, наличие и обилие резких переходов, наличие обширных областей с одномерным фоном.

Оценки эффективности методов сжатия изображений базируются на зависимостях коэффициента сжатия от характера изменения яркости, количества деталей, наличия и обширности областей с однородным или плавно изменяющимся фоном. Существующие оценки конкретных методов сжатия не учитывают особенностей кодируемого изображения и алгоритмов преобразования.

Таким образом, методы кодирования и сжатия на основе вейвлет-преобразования становятся все более популярными в области обработки данных, потому и были выбраны в качестве ключевых элементов в создании прикладных программных средств, используемых при проведении исследований на кафедре прикладной математики в Учебном научном институте кибернетики и технологий «УНИКИТ» Сургутского государственного университета «СурГУ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копенков, В.Н. Быстрые алгоритмы локального дискретного вейвлет-преобразования с базисом Хаара [Текст] / В.Н. Копенков // НТК с междунар. участием: «ПИТ-2006». – Самара. – 2006. – Т. 2. – С. 113–118.
2. Chernov, A.V. Fast Method for Local Image Processing and Analysis [Text] / A.V. Chernov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1999. – Vol. 9. – №4.
3. Mallat, S. A wavelet tour of signal processing [Text] / S. Mallat. – Academic Press, 1999.
4. Myasnikov, V. Methods for Designing Recursive FIR Filters [Text] / V. Myasnikov // Proc. of International Conf. Computer Vision and Graphics (ICCVG 2004). – Warsaw, Poland, Sept. 22-24, 2004.



МОДЕЛЬ МАШИНЫ ВЫВОДА ЗНАНИЙ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Значение баз знаний (БЗ) для ускорения проектирования электронных систем трудно переоценить. Ниже рассматривается разработка БЗ применительно к «системам на кристалле». В рамках онтологического подхода к созданию БЗ [1, 2], основанного на использовании взаимосогласованной совокупности таксономии терминов, определения терминов и правил их обработки, воспользуемся следующей моделью:

$$\Sigma^o = \langle O^{meta}, \{O^{d\&t}\}, \Xi^{inf} \rangle, \quad (1)$$

где O^{meta} – онтология верхнего уровня (метаонтология); $\{O^{d\&t}\}$ – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области; Ξ^{inf} – модель машины вывода знаний, ассоциированных с системой Σ^o . Метаонтология оперирует общими концептами и отношениями, не зависящими от конкретной предметной области.

В работе Т.А. Гавриловой и Е.Е. Веселовой «Об одном подходе к созданию атрибутивных онтологий и таксономий» указывается, что теория разработки онтологий пока не предлагает *универсальной* методики разработки онтологий. Кроме того, понятие «правильности» онтологии может быть определено только отдельно для каждого конкретного примера, с учетом назначения онтологии и общих целей разработки.

Рассматриваемый ниже системный подход к решению задач из области электроники позволил применить его к совершенно разным предметным областям: рынку ценных бумаг, методикам лечения болезней, системам «оператор – ЭВМ», разработке программного обеспечения и некоторым другим областям [3].

Предметная онтология O^{domain} содержит понятия, описывающие конкретную предметную область, отношения, семантически значимые для этой области, а также интерпретацию этих понятий и отношений:

$$O^{domain} = \langle X, \mathcal{M}, \Psi \rangle, \quad (2)$$

где X – конечное не пустое множество концептов (понятий, терминов) предметной области онтологии O^{domain} ; $\mathcal{M}$ – конечное множество отношений

между концептами рассматриваемой предметной области; Ψ – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях онтологии O^{domain} . Множество отношений $\mathcal{M}$ формулируют в исходных технических, технологических, экономических, эксплуатационных, экологических и эргономических требованиях (ТЭТ), охватывающих все аспекты проектирования. ТЭТ содержат ограниченное число данных и понятий, которых практически всегда недостаточно для решения всех задач синтеза баз знаний.

Множества Ψ и $\mathcal{M}$ могут быть пустыми, и в этом случае образуется просто словарь терминов предметной области. Для заявленной области это класс статических и динамических электронных устройств, описываемых линейными и однозначными кусочно-линейными моделями с постоянными и переменными во времени параметрами.

Например, онтология O^{domain} аналоговых электронных устройств (АЭУ) описывает генераторы гармонических и импульсных колебаний, электронные фильтры, фазовые и амплитудные корректоры, стабилизаторы напряжения и тока, управляемые преобразователи напряжения в ток и обратно, преобразователи цифрового кода в аналоговый (ЦАП) сигнал и преобразователи аналогового сигнала в цифровой код (АЦП) и др.

Онтология одежды описывает для мужчин, женщин и детей нижнее белье, верхнюю одежду, отличающиеся существенно в зависимости от времен года и погоды, а также возраста; соответствующие головные уборы и обувь.

Эти классы входят в надклассы, например в схемотехнике, генераторов, фильтров, корректоров, стабилизаторов и т. д. Для второго примера онтологии: белье, верхняя одежда, обувь, головные уборы.

Таким образом, переходя от надклассов к классам, осуществляют эффективное сужение области возможных решений: от NP -полной к полиномиальной задаче путем отсекающих решений, не относящихся к заданному в ТЭТ концепту.

Новые знания получают при решении практических и теоретических задач. Поэтому модель машины вывода знаний Ξ^{inf} может быть представлена моделями проектирования систем [4]. В рассматриваемой технической области (цифровой, аналоговой, программной) широкое применение находит спиралевидная модель, сжимающаяся [3–6] и расходящаяся в модели [7]. В моделях [5, 6] содержатся четыре этапа проектирования, описываемые существительными. Последние называют элементы, с которыми выполняются некоторые операции.

Модель [4] содержит семь теоретически обоснованных этапов, названия которых описывают иерархию действий по синтезу структуры и параметров элементов объекта проектирования. Это, а также синтез множества решений на каждом этапе и наличие обратных связей составляют кардинальное отличие предложенной модели от известных. Она содержит четыре аспекта проектирования: технологический (T), функциональный (F), структурный (S) и конструкторский (C). В указанном порядке они последовательно по спирали следуют друг, за другом одновременно переходя от вышестоящего этапа по каждому из аспектов к нижележащему (см. рисунок). Рассматриваемая модель несколько усовершенствована по сравнению с ее первым вариантом [4].

В публикациях [6–8] аспекты конструкторский и технологический объединяют в один. В резуль-

тате кажется, что число этапов проектирования уменьшается в каждом из аспектов, но необходимость решать задачи исключенных аспектов или этапов остается. Кроме того, в указанных моделях отсутствуют контуры обратной связи, а названия этапов отражают не технологию синтеза, как в предложенной модели, а иерархию системы проектирования: системный, блочный, регистровых передач, вентильный, схемный, транзисторный уровень. Описываемая модель отражает только один слой проектирования, после которого можно будет переходить на более высокий слой: блочный, системный. Модель на рисунке раскрывает схемный уровень со всеми необходимыми деталями.

В теории электронных цепей до сих пор преобладает подход, связанный с сокращением числа этапов в структурном аспекте, заменяя одним понятием «реализация, проектирование» следующие этапы: исчисление способов построения, синтез множества структур для каждого способа, синтез параметров элементов и допусков на них для каждой структуры.

Конечно, два последних этапа при практическом проектировании разделяют, но два предшествующих разрабатывают на основе интуиции огромного числа разработчиков. Поэтому затраты на оплату высококвалифицированных проектировщиков весьма велики и к тому же, в случае отставания от конкурентов по времени, приносят предприятию убытки.

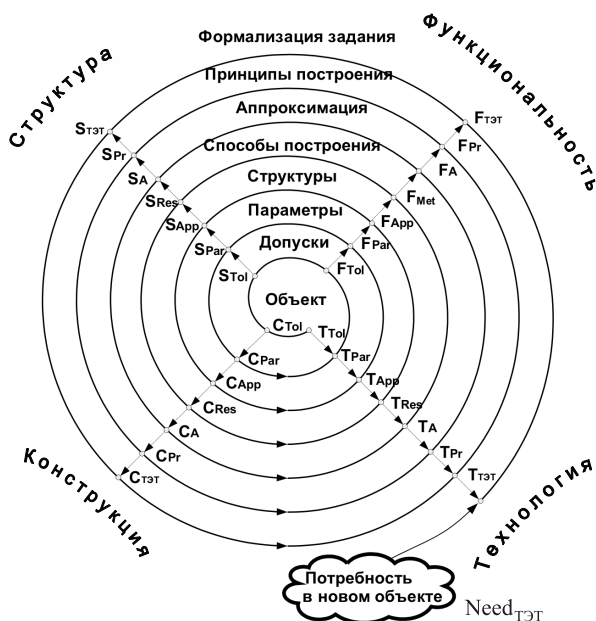
Сокращенные этапы представляют ту область БЗ, которую пытаются заполнить с помощью экспертов вместо формального решения всех этапов для каждого из аспектов.

На наш взгляд, даже простая формулировка новых этапов проектирования будет побуждать исследователей к разработке методов их решения. Опыт применения модели Ξ^{inf} в разных областях показывает, что конструкторский и технологический аспекты могут разрабатываться по аналогии с первыми двумя аспектами. Поэтому в БЗ сохраняют результаты проектирования по всем аспектам.

Представим модель машины вывода знаний в виде композиции

$$\Xi^{\text{inf}} = T \circ \text{Con} \circ S \circ F \quad (3)$$

для каждого витка спирали. Начинается проектирование с составления на функциональном аспекте ТЭТ, которые должны содержать, по возможности, все данные для начала проектирования



Четырехаспектная модель синтеза базы знаний

в каждом аспекте, начиная с функционального F и заканчивая технологическим T . Фактически ТЭТ являются функциями выбора эффективных, т. е. выполняющих ТЭТ решений. Кроме того, на функциональном аспекте в начале и после завершения проектирования по каждому этапу лицом, принимающим решения (ЛПР), выполняется анализ множеств полученных решений. По его результатам получают дополнительные сведения о проектируемом объекте, необходимые для решения задач следующего этапа и, что весьма важно, отсекают от дальнейшего рассмотрения те элементы множества, которые не выполняют ТЭТ.

В работе [3] доказано, что для формального решения задач структурного аспекта проектирования необходимо и достаточно семи этапов, если не синтезируется вид необходимой нелинейной характеристики элемента (S_{El}):

$$S = S_{Tot} \circ S_{Par} \circ S_{El} \circ S_{Ap} \circ S_{Met} \circ S_A \circ S_{Pr} \circ S_{TЭТ}, \quad (4)$$

где S_{Pr} – второй этап и описывающий синтез принципов построения системы; S_A – аппроксимация желаемых характеристик или процессов подсистем и компонент с формированием их математической модели статической и/или динамической; S_{Met} – синтез множества способов достижения желаемых характеристик или процессов (Met образовано от Method); S_{Ap} – синтез множества структур компонент в соответствии с одним вариантом аппроксимации, выбранным ЛПР; S_{El} – если требуется синтез вида нелинейной характеристики у некоторых элементов; S_{par}, S_{tol} – соответственно синтез параметров элементов и допусков на них для одной выбранной структуры.

На каждом этапе синтезируется множество решений, которые уже могут храниться в базе знаний, а кроме того уточняются ТЭТ и ограничения для следующего за ним аспекта. Если на нем при заданных ограничениях не удастся решить поставленные задачи, то после формализации причины возникновения проблемы по контуру обратной связи задача возвращается на предыдущий аспект или этап с целью выбора нового решения из ранее синтезированного подмножества.

Функциональный аспект F проектирования предшествует структурному и заключается в формировании функций выбора для каждого i -го этапа всех аспектов. Кроме того, на этом же аспекте начинается очередной $i+1$ -й этап проверкой соответствия полученных результатов сформирован-

ной функции выбора. При положительном ответе результаты синтеза сохраняются в части базы знаний, сохраняющей положительные решения пройденных этапов всех аспектов проектирования.

В итоге сравнения из альтернативных множеств для конкретной задачи исключаются неэффективные подмножества решений. Они запоминаются в другой части базы знаний для использования при проектировании подобных задач, но с несколько иными ТЭТ.

Для оставшегося подмножества формируются для $i+1$ этапа расширенная функция выбора, которая содержит описание все более подробной функциональности и новых ограничений.

Таким образом, функциональный аспект описывается композицией функций выбора, у которых индексы соответствуют этапам структурного аспекта:

$$F = F_{Tot} \circ F_{Par} \circ F_{El} \circ F_{Ap} \circ F_{Met} \circ F_A \circ F_{Pr} \circ F_{TЭТ}. \quad (5)$$

Функциональность описывается с помощью вербальных, логических, динамических, алгебраических, однозначных нелинейных переменных. В функции F_i входят ограничения, соотношения, операторы принадлежности и не принадлежности, операторы сравнения, а также методы оптимизации.

Кроме того, должны использоваться методы и алгоритмы для перехода от схемных решений к их математическим моделям (символьным и численно символьным). Отсюда виден математический и алгоритмический аппарат, который должен быть в БЗ.

Конструкторский аспект C проектирования в системах на кристалле в основном связан с размещением подсистем и компонентов в нескольких слоях кристалла и трассировкой соединений. Причем, соединения занимают до 80 % площади кристалла, а скорости работы элементов стали столь велики, что часть соединений является длинными линиями, которые необходимо согласовывать с приемником и нагрузкой для исключения возникновения отраженных волн. Поэтому проектирование должно быть сквозным и проходить через все аспекты. Проблемы размещения и трассировки подсистем и компонент необходимо решать на ранних этапах проектирования параллельно аспектам (4) и (5).

При размещении решаются задачи эффективного сокращения расстояний между подсистемами

мами интенсивно обменивающихся данными и снижения влияния в подсистемах перекрестных помех с широким применением методов оптимизации.

Итак, композиция конструкторского проектирования

$$C = C_{Tol} \circ C_{Par} \circ C_{Tr} \circ C_{Ap} \circ C_{Met} \circ C_A \circ C_{Pr} \quad (6)$$

построена подобно рассмотренным выше, но имеет свои особенности. Они связаны с тем, что на кристалле аналоговые подсистемы составляют примерно 20–30 % аппаратной части, а остальная часть является цифровой.

Поэтому сначала в рамках первого этапа C_{Pr} решаются задачи принципов размещения цифровых подсистем, а затем – аналоговых.

На следующем этапе C_A осуществляют аппроксимацию желаемого вида сигналов, передаваемых по длинным линиям связи, а затем, после предварительного моделирования при необходимости синтезируют C_{Met} способы достижения такого вида сигналов и их реализацию путем синтеза C_{Ap} конструкторских и схемных структур. Остальные этапы в (6) достаточно традиционны.

Технологический аспект T проектирования является постоянным в течение некоторого интервала времени, поэтому он отражает в ТЭТ на проектирование систем на кристалле определенные типы элементов, их число, ограничения на значения параметров элементов, на допустимые отклонения значений параметров и их повторяемость, ограничения по выделяемому теплу и т. п.

Разработка нового технологического процесса может быть описана с помощью композиции, аналогичной (4). Прежде всего начинают разрабатывать программы автоматизированного проектирования для этого аспекта, т. к. новый процесс приводит к новым моделям элементов:

$$T = T_{tol} \circ T_{Par} \circ T_{Tr} \circ T_{Ap} \circ T_{Met} \circ T_A \circ T_{Pr} \quad (7)$$

Методы и алгоритмы решения задач перечисленных выше этапов составляют сердцевину машины вывода знаний Ξ^{inf} . Большинство трудностей с созданием баз знаний заключается в слабой разработанности методов вывода знаний. Для аспектов F и S проектирования аналоговых устройств в исследованиях первого автора разработаны методы, позволяющие решать все этапы сквозного проектирования с учетом ограничений, накладываемых аспектами (6) и (7). На решения, получаемые в результате формальной реализации аспектов (4), (5) выдаются патенты во всем мире.

Машина Ξ^{inf} – открытая, поэтому в БЗ можно легко вносить знания, ранее накопленные в организации или опубликованные в печати. Объем БЗ не будет большим благодаря возможности компактного хранения знаний о принципах, способах и структуре устройств, а также предельных параметрах характеристик, достигнутых при проектировании. Весьма важно для создания базы знаний то, что, начиная с потребности, которая формулируется как «пойди туда, не знаю куда, и принеси то, не знаю что», в результате синтеза потребители получают качественные изделия.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 10-01-0007-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. –СПб.: Изд-во «Питер», 2001. –384 с.
2. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг; Пер.с англ. –2-изд. –М.: ИД «Вильямс», 2006. –1408 с.
3. Лыпарь, Ю.И. Системное проектирование. Функциональный и структурный аспекты [Текст] / Ю.И. Лыпарь // Кибернетика и информатика. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. –С. 217–238.
4. Лыпарь, Ю.И. Синтез баз знаний интеллектуальных систем [Текст] / Ю.И. Лыпарь // Тр. VII МНПК «Системный анализ в проектировании и управлении». –СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. –С. 41–43.
5. Boehm, B.W. A spiral model of software development and enhancement [Text] / B.W. Boehm // Computer. –1988. –№ 21 (5). –P.61–72.
6. Gajsky, D. Principles of digital design. Prentice hall [Text] / D. Gajsky. –New Jersey, 1997. –447p.
7. Kang, S. CMOS digital integrated circuits. Analysis and design [Text] / S. Kang, Y. Lebelevici. –Boston, MacGrow-Hill, 1999.
8. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие [Текст] / Е.П. Угрюмов. –2-е изд., перераб. и доп. –СПб.: БХВ-Петербург, 2004. –800 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА ЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Крупные промышленные предприятия в современных условиях хозяйствования автоматизируют все сферы своей деятельности: от производственных (основных) до организационных (вспомогательных) процессов. Одной из задач автоматизации на таких предприятиях является автоматизация процессов управления инженерной инфраструктурой. Комплексная автоматизация при этом должна учитывать отличительные особенности таких предприятий: территориальную распределенность, большое количество производственных площадей и производственных объектов и, как следствие, сложноразветвленную инженерную инфраструктуру. Применение информационных технологий в данной области способно в значительной мере повысить степень достоверности информации об объектах предприятия.

В настоящее время основное направление в области автоматизации управления инженерной инфраструктурой промышленных предприятий – применение геоинформационных технологий. Данный подход позволяет объединить традиционные операции работы с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и пространственного анализа, которые предоставляет электронная карта [1]. Фактически, такой процесс автоматизации может сводиться к технологии формирования и ведения электронного генерального плана (ЭГП) промышленного предприятия.

Генеральный план промышленного предприятия – одна из важнейших частей проекта промышленного предприятия, содержащая комплексное решение вопросов планировки и благоустройства территории, размещения зданий, сооружений, транспортных коммуникаций, инженерных сетей, организации систем хозяйственного и бытового

обслуживания, а также расположения предприятия в промышленном районе (узле) [2].

Документооборот ЭГП

Современные геоинформационные системы промышленных предприятий преимущественно ориентированы на работу с пространственными данными и атрибутивной информацией, не уделяя при этом должного внимания вопросам документационного обеспечения этапов жизненного цикла объектов инженерной инфраструктуры. Типовым подходом на современных предприятиях является разделение функций управления пространственными данными инженерных объектов и документами, регламентирующими работы на данных объектах между различными информационными системами. Подобный подход является причиной дублирования и рассогласованности данных в подразделениях предприятия. Также при ведении ЭГП необходимо учитывать большое количество профильной (инженерной) и организационной документации, находящейся в общем потоке документооборота. Фактически, здесь может быть поставлена задача разработки (приобретения) и внедрения автоматизированной информационной системы организации документооборота электронного генерального плана промышленного предприятия.

С точки зрения конечного пользователя программное обеспечение такой системы должно обеспечивать выполнение всего спектра функциональных задач, свойственных системам электронного документооборота (СЭД), а также решать специфичные для данной предметной области задачи:

ведение первичной регистрации всех типов документов, находящихся в общем потоке документооборота ЭГП;

ведение электронного архива документов ЭГП;

организацию взаимодействия с другими профильными подсистемами программного комплекса ведения ЭГП;

организацию автоматизированного контроля исполнения документов: постановку документов на контроль; формирование напоминаний и писем-предупреждений о необходимости исполнения в срок соответствующих документов; продление срока исполнения и снятие документа с контроля;

ведение технологии электронного взаимодействия между подразделениями организации (пользователями ЭГП), посредством работы с документами в электронном виде (просмотр документов, просмотр резолюций руководителя, добавление резолюции и т. д.);

мониторинг документа – определение стадии, на которой находится рассмотрение того или иного документа;

связь между документами различного уровня исполнения;

хранение информации обо всех документах, обеспечив возможность доступа к любой стадии работы с документами;

ведение системы отчетности по исполнению документов и исполнительской дисциплине сотрудников организации с функцией автоматического информирования руководства о состоянии исполнительской дисциплины;

задание электронно-цифровой подписи документа с обеспечением проверки принадлежности подписи владельцу сертификата ключа электронной подписи.

Как видно из приведенного перечня функций, большинство из них можно отнести к функциям классических систем электронного документо-

оборота. Основной спецификой здесь является необходимость хранения и мониторинга в системе большого объема электронных документов ЭГП и обеспечение взаимодействия с другими подсистемами. Исходя уже из требования наличия такой функции, внедряемая система документооборота должна обладать открытым интерфейсом и быть интероперабельной. Существующие на рынке программного обеспечения системы документооборота, за редким исключением, либо не обладают такими возможностями, либо являются «системами-конструкторами», требующими дополнительных трудозатрат при внедрении и адаптации подобных систем. Наиболее перспективный вариант – разработка собственной подсистемы электронного документооборота, которая будет входить в состав программного комплекса управления инженерной инфраструктурой предприятия. В этом случае существует возможность учесть все варианты взаимодействия между подсистемами программного комплекса и обеспечить согласованный формат обмена данными между подсистемами.

Организация взаимодействия СЭД с подсистемами ЭГП

Выделим основные процессы, связанные с объектами инженерной инфраструктуры, протекающие на предприятии, и соответствующие им функции систем документооборота и электронного генерального плана, с которыми необходимо обеспечить взаимосвязь (табл. 1).

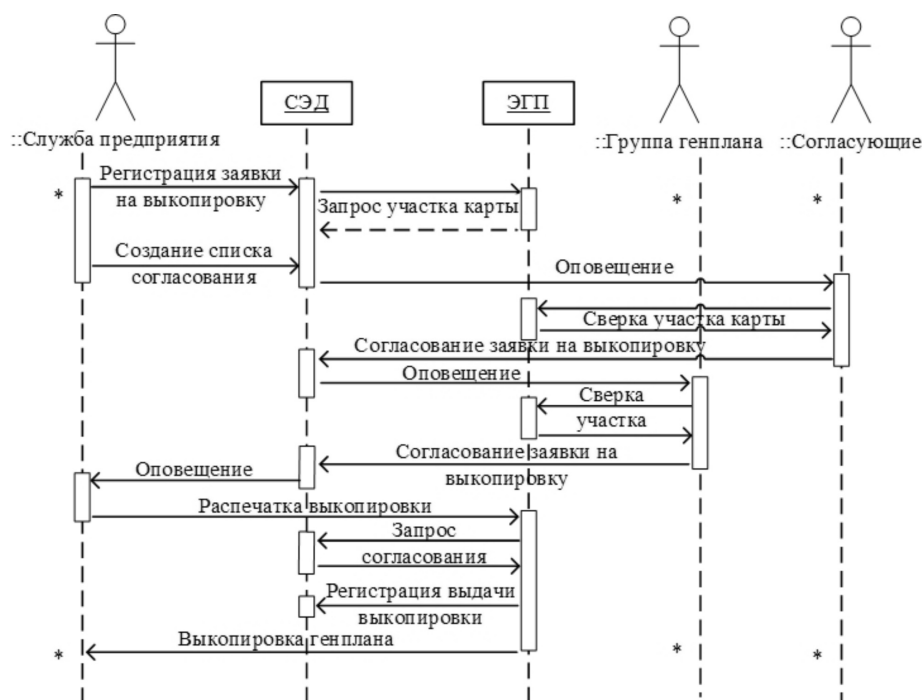
На рисунке представлена детализация процесса «Формирование выкопировки генплана» в нотации диаграммы, последовательности языка UML. Как видно из приведенной диаграммы, уже инициация одного такого процесса требует осуществления большого комплекса мероприятий, что должно

Таблица 1

Функции систем документооборота и электронного генплана в рамках процессов по управлению объектами инженерной инфраструктуры предприятия

Процесс	Функции информационных систем	
	СЭД	ЭГП
Формирование выкопировки генплана	Регистрация заявки на формирование выкопировки генплана. Формирование разрешения на земляные работы. Регистрация факта выдачи выкопировки участка генплана	Согласование участка генплана. Формирование выкопировки участка генплана

Процесс	Функции информационных систем	
	СЭД	ЭГП
Проведение геодезических работ по наблюдению за состоянием зданий и сооружений	Формирование служебной записки на выполнение геодезических работ. Регистрация актов проведения геодезических работ	Подготовка и просмотр картматериала. Распечатка фрагмента картматериала. Формирование схемы нивелирования
Согласование проектов реконструкции, строительства, границ территорий предприятий, расположенных в границах санитарно-защитной зоны и охранных полосах внешних сетей предприятия	Регистрация запросов на согласование границ санитарно-защитной зоны предприятия с фиксацией результатов согласования	Анализ плана распределения СЗЗ. Анализ прохождения подземных коммуникаций в зоне
Предоставление пространственных данных при проектных согласованиях	Регистрация запроса на получение пространственных данных. Регистрация факта выдачи пространственных данных	Работа с исполнительным генпланом. Работа с данными геодезических съемок
Проектирование сооружений	Сопровождение процесса «Проектирование сооружений», с возможностью отслеживания состояний процесса, фиксации технической и проектной документации	Анализ размещения объектов
Согласование размещения (участие в размещении) проектируемого сооружения	Регистрация запроса на согласование. Регистрация запроса на предоставление технической информации об объектах	Выполнение выкопировки генплана. Предоставление технической и эксплуатационной информации о производственных объектах
Проведение капитального строительства сооружений	Регистрация запроса на выполнение разбивочных работ. Регистрация факта выдачи выкопировки. Регистрация акта на разбивку. Формирование карточки авторского надзора	Выкопировка участка проведения работ. Анализ территории на наличие близлежащих и пересекаемых коммуникаций
Геодезический контроль строительных работ	Регистрация запроса на выполнение геодезических работ. Регистрация результатов геодезических работ	Анализ территории
Прием исполнительной документации отделом генплана	Регистрация исполнительной документации	Добавление новых объектов на исполнительный генплан
Регистрация прав собственности на объекты недвижимости	Регистрация факта перехода прав собственности	Обновление атрибутивной информации
Учет эксплуатационными подразделениями новых объектов	Регистрация технической документации нового объекта	Добавление объекта на генплан



Процесс «Формирование выкопировки генплана»

отражаться в информационной системе.

Как известно, проблема интеграции информационных систем является краеугольным камнем при организации информационных потоков внутри любого предприятия. Данной проблеме уделено достаточно внимания в литературе, при этом предлагаются различные подходы для ее решения, представленные в [3, 4]. Наиболее современным на сегодняшний день подходом является концепция сервис-ориентированной архитектуры (SOA – Service Oriented Architecture).

Сервис-ориентированная архитектура строится за счет проектирования и разработки сервисов и средств их подключения. Сервис представляет собой определенную работу или бизнес-функцию, предназначенную для обеспечения согласованной работы приложений.

SOA не зависит от языков программирования, платформ или протокольных спецификаций, с помощью которых сервисы разрабатываются. В частности, принципами SOA являются [4]:

- 1) отсутствие привязки архитектуры к определенной технологии;
- 2) использование сервисов, независимых от конкретных приложений, с единообразными интерфейсами доступа к ним;
- 3) организация сервисов как слабосвязанных компонент для построения систем.

Появление SOA обусловлено желанием перейти от программирования комплексных информационных продуктов к возможности «сборки», удовлетворяющей информационные потребности системы из разнородных приложений. Также немаловажным аспектом SOA является высокая гибкость, достигаемая за счет возможности быстрой корректировки бизнес-логики – изменение, вносимое в бизнес-функцию, в итоге затронет все необходимые приложения [4].

При реализации архитектурного стиля SOA каждая из информационных систем, вовлеченных в общий бизнес-процесс, предоставляет набор информационных услуг (сервисов), которыми могут пользоваться остальные системы. Наиболее распространенной технологией реализации подобных сервисов является использование протокола SOAP (Simple Object Access Protocol – простой протокол доступа к объектам). Одно из главных преимуществ данного протокола заключается в формальном описании информационных объектов, которыми обмениваются интегрируемые системы.

Использование SOA в качестве решения для интеграции систем электронного документооборота и электронного генерального плана, в рамках задачи управления инженерной инфраструктурой предприятия, является наиболее приемлемым и

Таблица 2

Информационные услуги СЭД и ЭГП в процессе «Формирование выкопировки»

СЭД	ЭГП
Регистрация документа. Формирование списка согласования. Согласование документа. Проверка согласования документа	Запрос участка электронной карты. Сверка участка электронной карты

наименее трудозатратным способом организации взаимодействия. При такой организации следует учитывать, что каждая из интегрируемых систем должна предоставить сервисы, позволяющие осуществлять весь набор операций над информационной системой в рамках протекающего процесса. Так, для процесса «Формирование выкопировки генплана» (см. рисунок) можно определить набор услуг (сервисов), предоставляемых системами СЭД и ЭГП (табл. 2).

Детализация всех процессов, представленных в табл. 1, позволяет определить набор информационных услуг (сервисов) систем СЭД и ЭГП, которые необходимо реализовать для организации документооборота в рамках решения задачи управления объектами инженерной инфра-

структуры предприятия, обеспечив тем самым полноценную интеграцию системы электронного документооборота в общее информационное пространство технологии формирования и ведения электронного генерального плана промышленного предприятия.

Внедрение системы документооборота электронного генерального плана в совокупности с решением классических задач делопроизводства призвано обеспечить полноценное ведение инженерной документации и способствовать автоматизации бизнес-процессов, выделяемых при управлении инженерной инфраструктурой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.», госконтракт № 07.524.11.4013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ехлаков, Ю.П.** Принципы построения Web-ориентированной ГИС промышленного предприятия [Текст] / Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуковский, Н.Б. Рыбалов // Известия Томского политехнического ун-та. –2006. –Т. 306. –№ 7. –С. 146–152.
2. **Гриценко, Ю.Б.** Геоинформационные технологии мониторинга инженерных сетей: Монография [Текст] / Ю.Б. Гриценко, Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуков-

ский. –Томск: Изд-во ТУСУР, 2010. –148 с.

3. **Daigneau, Robert.** Service Design Patterns: Fundamental Design Solutions for SOAP/WSDL and RESTful Web Services [Text] / Robert Daigneau. –М.: Addison-Wesley Professional, 2011. –352 p.

4. **Erl, Thomas.** SOA Design Patterns [Text] / Thomas Erl. –М.: Prentice Hall PTR, 2009. –800 p.

УДК 004:330.47

В.А. Агиевич, Р.Д. Гимранов, В.В. Таратухин

**ПРОБЛЕМА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНОЙ
АРХИТЕКТУРЫ И ПОДХОД К ЕЕ РЕШЕНИЮ**

Корпоративная архитектура – это полное описание предприятия, его генеральный план. Этот генеральный план связывает в единую систему аспекты бизнес-планирования (такие, как цели и принципы управления), операционной деятель-

ности (сроки, оргструктуры, процессы и данные), автоматизации (информационные системы и базы данных) и технологической инфраструктуры (компьютеры, операционные системы и сети) [1]. В данное время существует множество различ-

ных методологий и программных продуктов для построения корпоративной архитектуры, однако в этой области по-прежнему остается множество нерешенных проблем как с методологической, так и с организационной точки зрения [2, 3].

Одной из сложных организационных проблем является обеспечение соответствия моделей базовой корпоративной архитектуры объектам описываемого предприятия в условиях постоянных изменений. Подобные условия складываются на крупных предприятиях ввиду большого числа ИТ-проектов и высокой сложности ИТ-ландшафта. В настоящей статье описана проблема адекватности моделей корпоративной архитектуры, для решения которой предложен подход к построению базовой корпоративной архитектуры с использованием моделей ИТ-решений.

Корпоративная архитектура

Базовая корпоративная архитектура. Корпоративная архитектура (КА) представляет собой стратегический информационный актив, который формализует миссию предприятия, информацию, необходимую для выполнения этой миссии, а также технологии и процессы изменения технологий в ответ на меняющиеся потребности миссии [1]. Она обеспечивает структуру для планирования и внедрения эффективной, базирующейся на стандартах, информационной инфраструктуры с хорошо интегрированными сервисами [4].

Основные составляющие корпоративной архитектуры: базовая архитектура, целевая и план перехода от базовой к целевой. Базовая корпоративная архитектура отражает текущее состояние предприятия, которое в описанных выше условиях непрерывно изменяется.

Методология корпоративной архитектуры. Методология КА определяет сферу описания корпоративной архитектуры и ее структуру (framework), т. е. раскладку элементов этого описания на структурированные уровни и компоненты [2]. Эти структурные компоненты и их взаимосвязи описываются метамodelью, которая является ядром большинства методологий КА. Метамodelь КА есть модель, которая описывает, как и какими компонентами будет представлена архитектура в структурированном виде [5]. Модели корпоративной архитектуры формируются в архитектурном репозитории таким образом, чтобы обеспечить полный набор компонентов и связей между ними в соответствии с метамodelью.

Проблема адекватности моделей корпоративной архитектуры

Адекватность модели – соответствие модели моделируемому объекту или процессу [6].

Моделирование базовой корпоративной архитектуры крупной компании – сложная организационно-техническая проблема. Команда архитекторов должна собрать необходимую информацию, структурировав ее в архитектурном репозитории в соответствии с выбранной методологией. Архитектура предприятия, как правило, принимает форму обширного набора моделей, описывающих структуру и функции, и информационные системы предприятия.

То, что критическим образом определяет лучшее понимание всей модели предприятия – это связи между различными моделями, описывающими различные предметные области архитектуры. К сожалению, возможных моделей для описания деятельности предприятия как системы существует множество, и очень часто в организации происходит достаточно разрозненный процесс моделирования [7]. Кроме того, на крупных предприятиях распространенной является ситуация, когда в разных организационных структурах несколько ИТ-проектов проводятся одновременно. Количество ИТ-проектов различного масштаба за год в таких компаниях может измеряться десятками и даже сотнями. Таким образом, изменения в части информационных технологий происходят постоянно и могут выполняться командами ИТ-проектов в той части предприятия, которая была описана корпоративными архитекторами ранее. В подобных условиях возникает проблема обеспечения адекватности моделей базовой корпоративной архитектуры как в ходе его первоначального наполнения, так и при дальнейшем отслеживании изменений.

Проблема обеспечения адекватности моделей базовой корпоративной архитектуры актуальна при построении корпоративной архитектуры крупных компаний.

Пути обеспечения адекватности моделей КА

Для обеспечения адекватности моделей базовой корпоративной архитектуры необходимо отслеживать любые релевантные для КА изменения на предприятии (как в ходе первоначального описания предприятия, так и в процессе управления корпоративной архитектурой). Выше было показано, что на крупных предприятиях множество



архитектурных изменений связано с выполнением ИТ-проектов. Для отражения таких изменений в базовой КА архитектура каждого проектируемого или изменяемого ИТ-решения должна приниматься во внимание.

Архитектура ИТ-решения (АР) – это структурированное описание бизнес-функций или бизнес-процессов и того, как информационные системы и технологии поддерживают выполнение этих функций и процессов. Архитектура ИТ-решения обычно ограничивается одним ИТ-проектом, она помогает транслировать требования в концептуальное видение решения, сформировать высокоуровневые спецификации проектируемой системы и совокупность шагов внедрения [5].

Традиционным источником информации об ИТ-решениях для корпоративных архитекторов является проектная документация. Процессы проектирования в области информационных систем в Российской Федерации регулируются стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 – 2005 [8]. Согласно данному стандарту, цель процесса проектирования архитектуры состоит в синтезе решения, которое бы удовлетворяло системным требованиям. На первой фазе этого процесса должны быть определены приемлемые проекты логической архитектуры, которые, в отличие от проектов физической архитектуры, представляют собой верхнеуровневое абстрактное описание проектируемой системы. Это описание должно быть отражено в соответствующем разделе проектной документации.

В настоящее время корпоративная архитектура и архитектура решений чаще всего рассматриваются как разные дисциплины и разные сферы деятельности. КА охватывает предприятие в целом, в то время как АР работает на уровне автоматизации отдельных процессов предприятия и описывает в основном сами автоматизируемые процессы, информационные системы и данные.

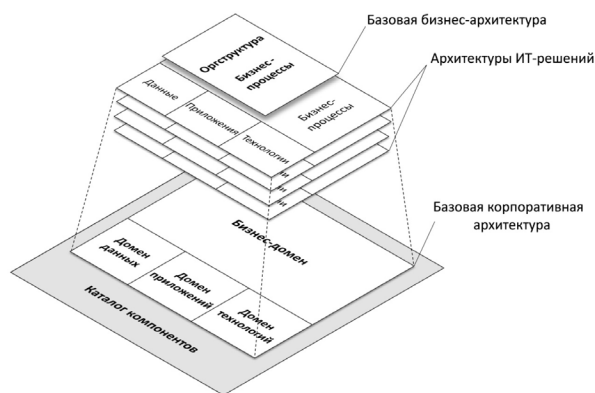
На крупных предприятиях изучение архитектуры ИТ-решений по описаниям, приведенным в проектной документации, – трудоемкий и длительный процесс. При таком подходе неизбежен разрыв между актуальным состоянием предприятия и моделями КА, который будет находиться в обратной зависимости от количества корпоративных архитекторов, занятых поддержкой базовой корпоративной архитектуры (для повышения степени адекватности моделей потребуется больше архитекторов).

Описание подхода к обеспечению адекватности моделей базовой КА

Более рационально отражение архитектуры ИТ-решений в базовой КА можно организовать, если информацию об архитектуре проектируемых и изменяемых ИТ-решений отражать напрямую (т. е. программно) в моделях базовой корпоративной архитектуры. Для этого необходимо использовать методику моделирования, при которой модели архитектуры ИТ-решений, разработанные проектными командами, будут совместимы с моделями корпоративной архитектуры и будут создаваться на одинаковом с ними уровне абстракции. С целью реализации соответствующего подхода нами были изучены методики моделирования ИТ-решений.

Моделирование предприятия должно быть сфокусировано на эффективном использовании существующих техник и интеграции их на соответствующем уровне абстракции [9]. Некоторые методики и языки моделирования ИТ-решений и информационных систем [10–16] поддерживают создание моделей, совместимых с какой-либо из методологий корпоративной архитектуры. Для организации моделирования архитектуры ИТ-решений, интегрированного с моделированием корпоративной архитектуры может быть выбрана одна из методик (язык моделирования) в зависимости от принятой методологии корпоративной архитектуры.

В результате анализа существующих методик и языков моделирования ИТ-решений нами сделан вывод о том, что совместимость моделей архитектуры ИТ-решений с моделями корпоративной архитектуры может быть обеспечена при помощи использования языка ArchiMate.



Корпоративная архитектура как проекция архитектур решений

При таком подходе базовую корпоративную архитектуру можно представить, как проекцию базовой бизнес-архитектуры и архитектуры существующих ИТ-решений (см. рисунок). За счет интегрирования моделей архитектуры ИТ-решений в архитектурном репозитории будет содержаться информация для построения моделей базовой корпоративной архитектуры в целом.

Предложен подход к решению проблемы актуальности моделей базовой корпоративной ар-

хитектуры в условиях постоянных изменений ИТ-ландшафта на крупных предприятиях. Суть подхода состоит в интегрировании моделей архитектуры существующих и проектируемых ИТ-решений с моделями бизнес-архитектуры. Кроме обеспечения адекватности моделей этот подход позволит привлечь к работам широкий круг специалистов, что, помимо сокращения сроков работ по формированию базовой корпоративной архитектуры, сформирует основу для единообразного формального документирования проектируемых ИТ-решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Schekkerman, J.** How to Manage the Enterprise Architecture Practice [Text] / J. Schekkerman. – Trafford Publishing, 2009. – 389 с.
2. **Shah, H.** Frameworks for Enterprise Architecture [Text] / H. Shah, M. Kourdi // IT Pro. – 2007. – P. 36–41.
3. **Кугелер, М.** Менеджмент процессов [Текст] / М. Кугелер, М. Роземан, В.В. Таратухин, Л. Вилков [и др.]. – М.: Изд-во «Эксмо», 2010. – 384 с.
4. **Dahalin, Z.M.** An Enterprise Architecture Methodology for Business-IT Alignment – Adopter and Developer Perspectives [Text] / Z.M. Dahalin, R.A. Razak, H. Ibrahim [et al.] // Communications of the IBIMA. – 2010.
5. **TOGAF 9.1** [Электронный ресурс] / The Open Group, 2011. – Режим доступа: <http://pubs.opengroup.org/architecture/togaf9-doc/arch/> (Дата обращения 02.07.2012)
6. **Лопатников, Л.И.** Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки [Текст] / Л.И. Лопатников. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2003. – 520 с.
7. **Данилин, А.** Архитектура и стратегия. «Инь» и «Янь» информационных технологий предприятия [Текст] / А. Данилин, А. Слюсаренко. – М.: Интернет-Ун-т информ. технологий, 2005. – 504 с.
8. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 – 2005.** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
9. **Lankhorst, M.M.** Enterprise architecture modeling – the issue of integration [Text] / M.M. Lankhorst // Advanced Engineering Informatics. – 2004. – № 18. – P. 205–216.
10. **OSI Solution Architecture Framework** [Электронный ресурс] / Office of System Integration, 2008. – Режим доступа: <http://www.bestpractices.osi.ca.gov/sysacq/documents/OSISolutionArchitectureFramework.pdf> (Дата обращения: 02.07.2012)
11. **Solution Architecture Framework Toolkit** [Электронный ресурс] / Office of System Integration, 2011. – Режим доступа: http://www.bestpractices.osi.ca.gov/sysacq/documents/solution_architecture_framework_toolkit.pdf (Дата обращения 02.07.2012)
12. **Полукеев, О.** Моделирование бизнеса и архитектура информационной системы [Текст] / О. Полукеев, Д. Коваль // СУБД. – 1995. – № 4. – С. 81–94.
13. **Забегалин, Е.В.** Технология моделирования архитектуры автоматизированных информационных систем: Сб. метод. рекомен. по определению и моделированию архитектуры автоматизированных информационных систем в консалтинговых проектах [Текст] / Е.В. Забегалин. – ИБС, Департамент управленческого консалтинга, 2006.
14. **Frankel, D.** The Zachman Framework and the OMG's Model Driven Architecture [Text] / D. Frankel, P. Harmon, J. Mukerji, J. Odell [et al.] // Business Process Trends. – 2003. – №9.
15. **ArchiMate 2.0 Specification** [Электронный ресурс] / The Open Group, 2012. – Режим доступа: <http://pubs.opengroup.org/architecture/archimate2-doc/> (Дата обращения 24.08.2012)
16. **Таратухин, В.В.** Построение комплексного решения анализа и оптимизации бизнес-процессов на базе средства моделирования бизнес-процессов ARIS и платформы SAP Solution Manager [Текст] / В.В. Таратухин, А.В. Фомин, Т.А. Печорина, Н.В. Асеева // Сб. тр. XII Науч.-практич. конф. Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных технологий. Системы управления знаниями. – 2009. – С. 279–283.



IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control

June 19-21, 2013, Saint Petersburg, Russia

<http://mim2013.org>



General Scientific Chair: Stanislav Vassilyev
General Scientific Co-Chair: Rafael Yusupov

IPC Chair: Alexandre Dolgui
IPC Vice-Chair: Agostino Villa

NOC Chair: Natalia Bakhtadze
NOC Vice-Chair from Industry: Victor Dozortsev
Scientific Editor: Vladimir Lototsky

FIRST ANNOUNCEMENT AND CALL FOR PAPERS

The IFAC MIM '2013 Conference is the next one in the series of IFAC events on Manufacturing Modelling, Management, and Control, organized since 1993, with the previous one having held in Budapest, Hungary in 2007. The present event, MIM '2013, is thought as a new step in developing MIM's traditions, scopes, and aims.

The IFAC MIM '2013 Conference is sponsored by IFAC 5.2 Technical Committee and co-sponsored by a number of IFAC committees as well as other scientific societies under the organizational support of the V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences as a host organization, that is known as a leading Russian institution in the branch of control sciences and an organizer of many considerable scientific events, among which the very successful IFAC INCOM '09 Symposium takes a special and memorable place.



IMPORTANT DATES

October 15, 2012
November 1, 2012

February 1, 2013
April 15, 2013
June 19-21, 2013

- Deadline for submission of invited sessions
- Deadline for submission of papers (full-length (6 pages) draft papers)
- Notification of papers acceptance/rejection
- Final papers submission and early registration
- MIM '2013



SCOPES

- ⚓ PLM and product design support systems
- ⚓ Virtual reality
- ⚓ Mass customization
- ⚓ Design and reconfiguration of manufacturing systems
- ⚓ Facility planning and materials handling
- ⚓ Inventory control, production planning and scheduling
- ⚓ Pricing and outsourcing
- ⚓ Supply chains and networks
- ⚓ Modeling, simulation, control and monitoring of manufacturing processes
- ⚓ Robotics in manufacturing
- ⚓ Probabilistic & statistical models in industrial plant control
- ⚓ Maintainability, reliability, safety and dependability of production systems
- ⚓ Monitoring, diagnosis and maintenance of manufacturing systems
- ⚓ Quality management
- ⚓ Process modeling and information systems within the extended enterprise
- ⚓ Architectures and models for intelligent manufacturing systems
- ⚓ Sensor networks, ubiquitous computing, active identifiers, wireless communication in manufacturing
- ⚓ Knowledge management in production
- ⚓ Distributed systems and multi-agents technologies
- ⚓ Artificial intelligence and machine learning approaches
- ⚓ Complex adaptive systems and emergent synthesis in manufacturing
- ⚓ Discrete event systems in manufacturing
- ⚓ Simulation technologies
- ⚓ Operational research
- ⚓ Industrial and applied mathematics for production



REGISTRATION FEES

Early Registration (by April 15, 2013)

Full Registration	500 Euros
Student Registration	300 Euros

Late Registration

600 Euros
360 Euros



VENUE AND LOCATION

A unique attractive feature of the MIM '2013 Conference is its location and the month of year, Saint Petersburg and June. A world-famous city, founded in 1703 by the first Russian Emperor Peter the Great, Saint Petersburg will present you an incredible atmosphere of the bewitching White Nights, rivers, channels, bridges, and inimitable architecture that will forever stay with you. MIM '2013 sessions will take place in the main building of the Saint Petersburg State University, the historical building of the Twelve Collegia, the government of Russia of the Peter the Great. This Petrine era, Petrine Baroque building was designed by Domenico Trezzini and Theodor Schwertfeger and built from 1722 to 1744 at an embankment of the Neva river at the historical center of Saint Petersburg, providing at present complete technological facilities for the organization of large scientific forums.

And, of course, the MIM '2013 Social Program will completely correspond to the meaningful of the event, the city, and the time of year. In spite of its resplendence, the Social Program may nevertheless be described in few words: the Kingdom of Water and Architecture. So, the only words we can add to this invitation just are

WELCOME TO MIM '2013!
WELCOME TO SAINT PETERSBURG!





IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control

June 19-21, 2013, Saint Petersburg, Russia

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ И ПРИГЛАШЕНИЕ ДОКЛАДОВ

**Конференция Международной Федерации Автоматического Управления (ИФАК)
«Моделирование, менеджмент, и управление производством» MIM '2013**

Санкт-Петербург, 19–21 июня 2013 г.

Председатель конференции: *академик С.Н. Васильев*

Сопредседатель конференции: *член-корреспондент РАН Р.М. Юсупов*

Председатель Международного Программного комитета: *профессор А. Долгий*

Заместитель председателя: *профессор А. Вилла*

Председатель Национального Организационного комитета: *профессор Н.Н. Бахтадзе*

Заместитель председателя от промышленности: *профессор В.М. Дозорцев*

Научный редактор: *профессор В.А. Лотоцкий*

Детальная информация о конференции ИФАК MIM '2013 представлена на ее официальном веб-сайте <http://mim2013.org>

Конференция ИФАК IFAC MIM '2013 является очередным в ряду научных мероприятий ИФАК по моделированию, менеджменту и управлению производством, которые ранее проводились как семинары, последний из которых проходил в Будапеште в 2007 г. Настоящее мероприятие, MIM '2013, задумывается как новый шаг в развитии традиций, тематики и целей MIM. Конференция ИФАК MIM '2013 проводится Техническим комитетом 5.2 ИФАК совместно с другими комитетами ИФАК при организационной поддержке со стороны Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, известного как ведущая российская организация в области наук об управлении и как организатор многих значимых научных мероприятий в этой области, среди которых очень успешный симпозиум ИФАК INCOM '09 занимает особое и памятное место.

Крайний срок подачи докладов на конференцию: 1 ноября 2012 г.

Тематика конференции ИФАК MIM '2013:

- PLM and product design support systems / PLM и системы поддержки проектирования продукции
- Virtual reality / Виртуальная реальность

Mass customization

- Design and reconfiguration of manufacturing systems / Проектирование и реконфигурирование производственных систем

Facility planning and materials handling

- Inventory control, production planning and scheduling / Управление запасами, планирование и диспетчеризация
- Pricing and outsourcing / Ценообразование и аутсорсинг
- Supply chains and networks / Сети и цепочки поставок
- Modelling, simulation, control and monitoring of manufacturing processes / Моделирование, имитация и контроль производственных процессов
- Robotics in manufacturing / Робототехника на производстве



- Probabilistic & statistical models in industrial plant control / Вероятностные и статистические модели в управлении промышленными объектами
- Maintainability, reliability, safety and dependability of production systems / Сопровожаемость, надежность, безопасность и живучесть производственных систем
- Monitoring, diagnosis and maintenance of manufacturing systems / Контроль, диагностика и сопровождение производственных систем
- Quality management / Управление качеством
- Process modeling and information systems within the extended enterprise / Моделирование процессов и информационные системы в рамках расширенного предприятия
- Architectures and models for intelligent manufacturing systems / Архитектуры и модели для интеллектуальных производственных систем
- Sensor networks, ubiquitous computing, active identifiers, wireless communication in manufacturing / Сенсорные сети, распределенные вычисления, активные идентификаторы, беспроводная коммуникация в производстве
- Knowledge management in production / Управление знаниями в производстве
- Distributed systems and multi-agents technologies / Распределенные системы и мультиагентные технологии
- Artificial intelligence and machine learning approaches / Методы искусственного интеллекта и машинного обучения
- Complex adaptive systems and emergent synthesis in manufacturing / Сложные адаптивные системы и срочный синтез в производстве
- Discrete event systems in manufacturing / Дискретно-событийные системы в производстве
- Simulation technologies / Технологии имитационного моделирования
- Operational research / Исследование операций
- Industrial and applied mathematics for production / Промышленная и прикладная математика в производстве



IWSSIP 2013

Bucharest, Romania, July 7-9, 2013
International Conference on Systems, Signals and Image Processing



The 20th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2013, will take place in Bucharest, Romania, from July 7th to July 9th, 2013, being hosted by the University "Politehnica" of Bucharest (<http://www.upb.ro/en/>). The anniversary edition of IWSSIP 2013 follows the successful events held in Budapest, Manchester, Poznan, Zagreb, Bratislava, Maribor, Bucharest, Prague, Chalkida, Rio de Janeiro, Sarajevo and Vienna.

IWSSIP (<http://www.iwssip.org/>) is a well established international conference on theoretical, experimental, and applied signal processing techniques. IWSSIP brings together researchers and developers from both academia and industry to report on the latest scientific and theoretical advances, to discuss and debate major issues, to demonstrate state-of-the-art systems, and trace the road to the future. The proceedings of IWSSIP 2013 will be published in IEEE Xplore. More details can be found on <http://www.iwssip2013.com/>.

Continuing the tradition established by its previous editions, the program of IWSSIP 2013 will include keynote and special lectures presented by eminent experts in the field, peer-reviewed contributed papers, posters, and special sessions. The topics include signal processing, image and video processing, multimedia, as well as wireless communications, networks, and security. A special attention will be given to interdisciplinary areas at the confluence of Engineering and Life Sciences, such as Biomedical Signal and Image acquisition, processing and analysis, Signal and Image approaches to Bioinformatics and other related emerging domains.

Prospective authors are invited to submit full-length, four-pages long papers (including figures and references) of novel research material. All papers will be reviewed by at least two independent reviewers and will be accepted based on originality, significance, and clarity. As previously, we target an acceptance rate of about 50%. The review process will be handled in EDAS. Accepted papers will be indexed under IEEE Xplorer.

The Best Student Paper Award initiated starting the 2012 edition will be continued in 2013. The rules can be found on the conference website

IWSSIP 2013 is organized by the University "Politehnica" of Bucharest, the Faculty of Electrical Engineering, with the support of the Romanian Ministry of Education, Research, Youth and Sport, the Romanian Academy, the IEEE Region 8, and IEEE Romania Section. The event will be held in conjunction with ISSCS 2013, Technical University of Iasi, Romania, July 11-12, 2013 (<http://scs.etc.tuiasi.ro/isscs2013/>).

Important dead-lines

December 14, 2012	Proposals for tutorials and special sessions
March 15, 2013	Electronic submission of papers
May 17, 2013	Notification of acceptance
June 14, 2013	Submission of camera-ready papers

General Co-Chairs

Paul Dan Cristea

University "Politehnica" of Bucharest

Sanjit Kumar Mitra

University of California, Santa Barbara, CA

International Program Committee

- Behlilović N., Bosnia and Herzeg.
- Bogdanova S., FYROM
- Conci A., Brazil
- Cornelis J., Belgium
- Čučej Z., Slovenia
- Cristea P., Romania
- Domanski M., Polan
- Ebrahimi T., Switzerland
- Fazekas K., Hungary
- Grgić M., Croatia
- Grgić S., Croatia
- Izquierdo E., UK
- Karras D., Greece
- Katsaggelos A. K., USA
- Leta F., Brazil
- Liatsis P., UK
- Lukac R., Canada
- Mrak M., UK
- Pitas I., Greece
- Planinšič P., Slovenia
- Podhradský P., Slovakia
- Rozinaj G., Slovakia
- Rupp M., Austria
- Sanchez A., Spain
- Stasinski R., Poland
- Turan J., Slovakia
- Wajda K., Poland
- Zahariadis T., Greece
- Zovko-Cihlar B., Croatia

We invite you all at IWSSIP 2013 in Bucharest, Romania, July 7-9, 2013.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПЕРЕВОДЫ

“С точностью до буквы...”



ООО «Инновационные Лингвистические Технологии – РЭС»,

Группа Компаний «ABC-Translations»™

<http://www.ilt-res.com>

Научно-исследовательская организация «Инновационные Лингвистические Технологии – РЭС» (Россия, г. Нижний Новгород), входит в состав международной Группы Компаний «ABC-Translations»™ и успешно функционирует в России и за рубежом. Одно из основных направлений деятельности компании – оказание услуг в сфере лингвистики и высококачественного профессионального перевода научной и технической литературы и документации различных тематик по 42 языкам мира.

Мы предлагаем авторам, редакциям и издательствам:

- высококачественный перевод любой информации, включая книги, монографии, статьи, дайджесты, интервью;
- редактирование и вычитку готовых переводов;
- тематический подбор статей в иностранной прессе, с подготовкой краткого резюме для последующей подготовки к публикации;
- подбор информации и составление дайджестов зарубежной прессы;
- копирайтинг.

Специфика научно – технического перевода состоит в точной передаче специальных отраслевых терминов и аутентичности содержания. Мы сформировали команду высокопрофессиональных технических переводчиков, компетентных специалистов – каждый из них специализируется не только на техническом переводе в целом, но и на определенной узкой тематике. Благодаря этому, а также собственной системе двухступенчатой рекурсивной проверки и верификации текста, мы гарантируем качество и аутентичность перевода.

Доверяя научно-технический перевод профессионалам, Вы экономите время, силы и средства, и можете быть уверены в качестве выполнения заказа.

Контакты: Телефон/Факс: +7 (831) 433-77-14

Email: info@ilt-res.com, alexander.elin@ilt-res.com, abc-translations@bk.ru

Сайт: <http://www.ilt-res.com>



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ

АБДРАФИКОВ Михаил Асхатович – аспирант кафедры автоматизации проектирования информационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12. Тел. 8(347) 272-74-65, e-mail: aliastos@yandex.ru

АГИЕВИЧ Вадим Анатольевич – начальник отдела корпоративной архитектуры ОАО «Сургутнефтегаз», аспирант Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

628400, Тюменская обл., г. Сургут, ул. Григория Кукуевецкого, д. 1, корп. 1. E-mail: agievich_va@surgutneftegas.ru

АКИМОВ Валерий Петрович – профессор кафедры радиофизики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор физико-математических наук.

195251, Санкт-Петербург, д. 29. E-mail: akimov@radio.rphf.spbstu.ru

БЛЕКАНОВ Иван Станиславович – старший преподаватель кафедры технологии программирования Санкт-Петербургского государственного университета, кандидат технических наук.

195054, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., д. 35. Тел. 8(812)428-47-24, e-mail: a_vanes@mail.ru

ВАЛИТОВ Руслан Рустемович – аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. E-mail: valitov.rus@gmail.com

ВОЛКОВА Виолетта Николаевна – профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор экономических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. 8(812)552-61-59.

ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович – профессор, заведующий кафедрой автоматизации проектирования информационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета, доктор технических наук.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. Тел. 8(347) 272-74-65, e-mail: wega55@mail.ru

ГИМРАНОВ Ринат Дамирович – начальник управления информационных технологий ОАО «Сургутнефтегаз».

628400, Тюменская обл., г. Сургут, ул. Григория Кукуевецкого, д. 1, корп. 1.

ГОЛЛАНДЦЕВ Юрий Алексеевич – заведующий кафедрой интегрированных компьютерных технологий в промышленности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессор.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

ГРЕКОВ Артём Владимирович – старший преподаватель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Пермского военного института внутренних войск МВД России.

614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, д. 1. E-mail: grekartemvl@mail.ru

ДЕГТЯРЕВА Ирина Викторовна – заведующий кафедрой экономической теории Уфимского государственного авиационного технического университета, доктор экономических наук, профессор.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. E-mail: degtyareva@mail.rb.ru

ДМИТРИЕВ Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры обработки и передачи дискретных сообщений Санкт-Петербургского государственного университета имени профессора М.А. Бонч-Бруевича.

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. E-mail: kulhatzker@gmail.com

ЕХЛАКОВ Юрий Поликарпович – проректор по информатизации и управлению Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, доктор технических наук, профессор.

634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40. Тел. 8(3822) 53-24-20, e-mail: upe@tusur.ru

ЗУБРИЛИНА Татьяна Васильевна – доцент кафедры информационных систем в экономике и менеджменте Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: tvs_t@mail.ru

ИВАНОВ Владимир Георгиевич – начальник отдела ОАО «ВНИТИ ЭМ».

196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, д. 2.

ИЛЬЯСОВ Барый Галеевич – заведующий кафедрой технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, доктор технических наук, профессор.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 1. E-mail: ilyasov@tc.ugatu.ac.ru

КАЦКО Игорь Александрович – профессор кафедры статистики и прикладной математики Кубанского государственного аграрного университета, доктор экономических наук.

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13.

КИЕВ Владислав Альбертович – системный администратор кафедры компьютерных технологий в машиностроении Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. 8(812)297-94-35, e-mail: vlad@rwwws.ru

КОРЖЕВ Виталий Сергеевич – инженер учебной лаборатории АСУ Пермского военного института внутренних войск МВД России.

614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, д. 1. E-mail: veter44k@gmail.com

КОРОТКОВ Александр Станиславович – заведующий кафедрой интегральной электроники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, корп. 2. Тел. (812) 552-61-59, e-mail: korotkov@rphf.spbstu.ru

КУЗНЕЦОВ Михаил Павлович – студент кафедры интеллектуальных систем Московского физико-технического института.

119333, Москва, ул. Вавилова, д. 42-152. Тел. 8(499)135-41-63, e-mail: mikhail.kuznecov@phystech.edu

КУТЕРГИН Антон Олегович – аспирант кафедры системного анализа и управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 21. Тел. 8(812)297-42-14, e-mail: tezatlipoca@gmail.com

ЛАЗАРЕВ Иван Васильевич – аспирант кафедры автоматизации обработки информации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40. E-mail: liv@ms.tusur.ru

ЛЫПАРЬ Юрий Иванович – профессор кафедры системного анализа и управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 21. Тел. 8(812)297-42-14.

МАКАРОВА Елена Анатольевна – доцент кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, кандидат технических наук, докторант.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. Тел. 8(347) 273-78-35, e-mail: ea-makarova@mail.ru

МАРТЫНЕНКО Ирина Александровна – ученый секретарь кафедры технологии программирования Санкт-Петербургского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., д. 35.

МЕДВЕДНИКОВА Мария Михайловна – студентка кафедры интеллектуальных систем Московского физико-технического института.

119333, Москва, ул. Вавилова, д. 42-152. Тел. 8(499)135-41-63, e-mail: medvmasha@rambler.ru

МИКЛАДЗЕ Бессарион Давидович – аспирант кафедры информационных систем в экономике и менеджменте Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

194356, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: bessarion.mikeladze@gmail.com



МОШКИН Александр Андреевич – аспирант кафедры средств связи с подвижными объектами и радиопередающих устройств Санкт-Петербургского государственного университета имени профессора М.А. Бонч-Бруевича.

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61.
E-mail: saneek@gmail.com

РУМЯНЦЕВ Иван Александрович – инженер кафедры интегральной электроники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, корп. 2. E-mail: i.a.rumyancev@gmail.com

САДОВНИКОВ Владимир Юрьевич – аспирант кафедры систем коммутации и распределения информации Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича.

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61.
E-mail: sadko_sobaka@rambler.ru

СЕНЧЕНКО Павел Васильевич – доцент кафедры автоматизации обработки информации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент.

634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40. Тел. 8(3822) 70-15-46. E-mail: pvs@tusur.ru

СЕРГЕЕВ Сергей Львович – заведующий кафедрой технологии программирования Санкт-Петербургского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., д. 35.

СИВЕРС Мстислав Аркадьевич – заведующий кафедрой средств связи с подвижными объектами и радиопередающих устройств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича, доктор технических наук, член Международной академии связи.

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61.

СНЕГИРЁВ Александр Юрьевич – профессор кафедры математического и программного обеспечения высокопроизводительных вычислений, компьютерных технологий и эксперимента в теплофизике Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: a.snegirev@phmf.spbstu.ru

СПАССКИЙ Ярослав Борисович – аспирант кафедры мехатроники и роботостроения Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Инженер группы технологического моделирования ООО «Морстройтехнология».

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: yspassky@morproekt.ru

СТРИЖОВ Вадим Викторович – научный сотрудник Вычислительного центра РАН, кандидат физико-математических наук, доцент.

119333, Москва, ул. Вавилова, д.42-152. Тел. 8(499)135-41-63, e-mail: strijov@ccas.ru

СУХОВ Игорь Александрович – аспирант кафедры радиофизики радиофизического факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: sia23@mail.ru

ТАРАТУХИН Виктор Владимирович – профессор базовой кафедры корпоративных информационных систем НИУ ВШЭ, кандидат технических наук, доктор философии. Европейский исследовательский центр информационных систем Вестфальского университета имени Вильгельма, Германия, Мюнстер, руководитель научной группы

101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 20.

ТОРГАН Юлия Николаевна – студент кафедры информационных систем в экономике и менеджменте Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: yul.torgan@gmail.com

ТУРУСОВ Сергей Николаевич – профессор кафедры интегрированных компьютерных технологий в промышленности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

ТЮРИН Сергей Феофентович – профессор кафедры автоматики и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета, доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель РФ.

614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29. E-mail: tyurinsergfeov@rambler.ru

ФИЛИППОВ Тимур Константинович – соискатель кафедры прикладной математики Сургутского государственного университета.

628400, Тюменская обл., г. Сургут, пр. Ленина. E-mail: Tim-filippov@yandex.ru

ЦОЙ Анна Сергеевна – аспирант кафедры компьютерных технологий и эксперимента в теплофизике Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail: anna-tsoy@list.ru

ШАБРОВ Николай Николаевич – заведующий кафедрой компьютерных технологий в машиностроении Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. 8(812)297-94-35, e-mail: shabrov@twwws.ru

ШЕЙНМАН Ирина Яковлевна – доцент кафедры экспериментальной физики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. 8(812)552-77-90, e-mail: sheinman@cisp.spb.ru

ЯГУДИН Рустем Расламович – аспирант кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. E-mail: gunboxer@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ РЕДАКЦИИ

Сообщаем, что статья В.С. Заборовского и А.А. Лукашина «СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ», опубликованная в № 4 (152) 2012, дополнена ссылкой: «Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, госконтракт № 07.514.11.4084».

АННОТАЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Блеканов И.С., Сергеев С.Л., Мартыненко И.А. ПОСТРОЕНИЕ ТЕМАТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЕБ-КРАУЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОГО ЯДРА.

Описана архитектура обобщенного ядра веб-краулера для вебметрических исследований информационных источников в веб-пространстве и построения специализированных веб-краулеров. Приведены показатели, оценивающие качество работы различных видов веб-краулеров, и рассмотрены основные проблемы зарубежных аналогов. Поставлен эксперимент, в котором сделан сравнительный анализ производительности специализированных веб-краулеров на основе обобщенного ядра с его зарубежными аналогами.

ВЕБ-ПРОСТРАНСТВО. ВЕБ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЕБ-РЕСУРСЫ. ВЕБ-КРАУЛЕР. ПОИСКОВЫЙ РОБОТ. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ВЕБ-КРАУЛЕР. АРХИТЕКТУРА ВЕБ-КРАУЛЕРА. ОБОБЩЕННОЕ ЯДРО. ГИПЕРССЫЛОЧНАЯ СТРУКТУРА.

Торган Ю.Н., Зубрилина Т.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ БАЗ ДАННЫХ

Представлен вариант решения проблемы масштабирования и производительности реляционной базы данных, основанный на применении методов, используемых в NoSQL базах данных (шардинг и репликация).

БАЗА ДАННЫХ. РЕЛЯЦИОННАЯ. НЕРЕЛЯЦИОННАЯ. ПАРТИЦИОНИРОВАНИЕ. ШАРДИНГ. РЕПЛИКАЦИЯ. ИНТЕГРАЦИЯ.

Мошкин А.А., Сиверс М.А. МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ.

Приведены результаты исследований методов локализации мобильных терминалов МТ в беспроводных телекоммуникационных сетях (БИТС). Дана информация о двух новых методах локализации и некоторые результаты их экспериментальных исследований в сетях сотовой связи стандарта GSM.

БЕСПРОВОДНЫЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ. МОБИЛЬНЫЕ ТЕРМИНАЛЫ. ЛОКАЛИЗАЦИЯ. ТОЧНОСТЬ.

Садовников В.Ю. ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТУПА К FMC-УСЛУГАМ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ РАВНОМЕРНОЙ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ МЕЖДУ СЕТЯМИ ДОСТУПА ПРИ МИГРАЦИИ АБОНЕНТА.

Представлен метод оптимизации доступа к конвергентным услугам, адаптируемого в согласии с сетевыми конфигурациями, через гетерогенные сети доступа в рамках концепции Always Best Connected (ABC). Приведены алгоритмы равномерного распределения и балансировки нагрузки между сетями доступа, позволяющие эффективно использовать сетевой ресурс.

СЕТИ ДОСТУПА. НАГРУЗКА. ТРАФИК. АЛГОРИТМЫ. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ОПТИМИЗАЦИЯ.

Кутергин А.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОКОГНИТРОНА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ОБЪЕКТА НА ВИДЕОПОТОКЕ.

Изучена проблема распознавания действий объекта на видеопоследовательности. В представленном материале показана методика приведения пространственно-временных характеристик действий объекта, полученных при помощи решения уравнения оптического потока, к виду, пригодному для подачи на вход нейронной сети типа «неокогнитрон».

НЕОКОГНИТРОН. КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ. МЕТОД ЛУКАСА-КАНАДА.

Тюрин С.Ф., Греков А.В., Коржев В.С. СКОЛЬЗЯЩЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ С ИЗБЫТОЧНЫМ БАЗИСОМ.

Для повышения надежности конфигурируемых логических блоков (КЛБ) программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) предложено введение средств пассивно-активной отказоустойчивости со скользящим резервированием в каналах КЛБ на основе элементов с избыточным базисом, позволяющая обеспечить восстановление элементов с полным базисом из нескольких отказавших, но сохранивших базис.

НАДЕЖНОСТЬ. КОНФИГУРИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ БЛОКИ. ПРОГРАММИРУЕМАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА. ПАССИВНАЯ И АКТИВНАЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ. ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ. СКОЛЬЗЯЩЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ. ЭЛЕМЕНТ С ИЗБЫТОЧНЫМ БАЗИСОМ – ФУНКЦИОНАЛЬНО ПОЛНЫЙ ТОЛЕРАНТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ. БАЗИС.

Сухов И.А., Акимов В.П. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА MUSIC В ПЕЛЕНГАТОРАХ С КОЛЬЦЕВЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ ИЗ НАПРАВЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Рассмотрены особенности применения алгоритма пеленгации MUSIC к кольцевой антенной решетке из направленных элементов. Определены оптимальные характеристики антенных элементов и оценена точность пеленгации радиопеленгатора. Рассмотрен случай падения двух сигналов на антенную решетку.

КЛАССИФИКАЦИЯ МНОЖЕСТВА СИГНАЛОВ. КОЛЬЦЕВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА. РАДИОПЕЛЕНГАЦИЯ. АЛГОРИТМ ПЕЛЕНГАЦИИ. ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ.

Коротков А.С., Румянцев И.А. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С «ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ».

Рассмотрены особенности построения функциональных моделей усилителя мощности с равномерной и неравномерной выборкой элементов памяти. Представлены результаты работы моделей однотранзисторного усилителя мощности класса Е.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ. УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ. ЭФФЕКТ ПАМЯТИ.

Волкова В.Н., Микеладзе Б.Д. МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ ПРОЕКТОМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.

Предложен подход к управлению инновационными проектами многофункциональных комплексов, базирующийся на многомерном представлении структуры процесса управления проектированием и реализацией проекта МК. Приведен пример разработанной на этой основе методики управления процессом проектированием. Рассмотрены методы организации сложных экспертиз для реализации этапов методики, базирующиеся на информационных моделях.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ. МЕТОДИКА. МНОГОМЕРНАЯ СТРУКТУРА. ИННОВАЦИОННЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС. ПОДХОД. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ. СТРАТИФИЦИРОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ.

Ягудин Р.Р. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ УПАКОВКИ МНОГОГРАННИКОВ В ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДНУЮ ОБЛАСТЬ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ГОДОГРАФА ВЕКТОР-ФУНКЦИИ ПЛОТНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ.

Рассмотрена задача плотной упаковки невыпуклых многогранников в прямоугольный параллелепипед минимальной высоты. Для ее решения предложен алгоритм с применением годографа функции плотного размещения, который используется не только для соблюдения условий взаимного непересечения, но и для поиска параметров размещения. Приведены примеры работы алгоритма, а также результаты вычислительного эксперимента, произведенного на общедоступных примерах.

УПАКОВКА. ГОДОГРАФ ФУНКЦИИ ПЛОТНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ. УСЛОВИЯ ВЗАИМНОГО НЕПЕРЕСЕЧЕНИЯ. ОПТИМИЗАЦИЯ.

Дмитриев К.С. МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ НЕОДНОРОДНЫХ ДАННЫХ.

Рассмотрена проблема семантической неоднородности фрагментарных данных об одном объекте / предметной области. Предложена формальная модель для устранения неоднородности данных, введены критерии и показатели неоднородности.

ДАННЫЕ. РЕЛЯЦИОННАЯ АЛГЕБРА. РЕЛЕВАНТНОСТЬ. ЦЕЛОСТНОСТЬ. ОПТИМИЗАЦИЯ.

Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Валитов Р.Р. ДИНАМИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ СОЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФЕРТОВ.

Предложена когнитивная модель макроэкономической системы с учетом дифференциации доходов и расходов населения. Рассмотрены алгоритмы формирования социальных трансфертов и налоговых отчислений домохозяйств в рамках динамической модели макроэкономической системы. Проведены экспериментальные исследования влияния предложенных алгоритмов на социально-экономические показатели макроэкономической системы.

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА. ДОХОДЫ И РАСХОДЫ ДОМОХОЗЯЙСТВ. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ДОХОДОВ. СОЦИАЛЬНЫЕ ТРАНСФЕРТЫ. ПРОГРЕССИВНОЕ НАЛОГООБЛОЖЕНИЕ. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Гвоздев В.Е., Абдрафиков М.А. ОЦЕНИВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ СИСТЕМ КОММУТАЦИИ ПО ДАННЫМ ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Предложен новый подход к статистическому анализу характеристик надежности, ориентированный на обеспечение надежного функционирования изделий ответственного назначения, в основе которого лежит оценивание граничных значений характеристик надежности.

Опираясь на проведенные исследования разработана инженерная методика, которая может быть представлена в виде специализированного программного продукта, что позволит использовать разработанный математический аппарат специалистам, не знакомым подробно с аппаратом порядковых статистик.

НАДЕЖНОСТЬ. МАЛАЯ ВЫБОРКА. ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОРЯДКОВЫЕ СТАТИСТИКИ. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СТАТИСТИКИ.

Шейнман И.Я., Шабров Н.Н., Киев В.А., Снегирёв А.Ю., Цой А.С. МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ.

Исследована масштабируемость FireFOAM и FDS – двух открытых свободно распространяемых кодов для полевого моделирования пожаров. Получены зависимости ускорения и эффективности параллельных вычислений при различном размещении процессов на узлах кластера. Установлено, что для FireFOAM на расчетных сетках большой размерности ускорение приближается к линейному, а эффективность достигает 80 %.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ. ОТКРЫТОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ. FIREFOAM. FDS.

Спасский Я.Б. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ.

Рассмотрены проблемы проектирования морских портов и терминалов как типовых примеров сложных человеко-машинных систем, заключающиеся в необходимости сокращения сроков и повышении эффективности проектирования подобных объектов и обусловленные совершенно несостоятельным уровнем автоматизации. Показана эффективность применения для решения этой проблемы имитационного моделирования и предложена соответствующая методика.

АВТОМАТИЗАЦИЯ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ПОРТ. ТЕРМИНАЛ.

Голландцев Ю.А., Иванов В.Г., Турусов С.Н. ОБРАЩЕННЫЕ ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫМИ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ.

Предложена конструкция магнитной системы возбуждения обращенных вентильных двигателей, построенная из высококоэрцитивных постоянных магнитов по принципу схемы Хальбаха. Предложен способ компенсации существующих зубцовых гармоник. Приведены результаты моделирования, подтверждающие эффективность предлагаемых решений. Амплитуда распределения пускового момента по расточке статора при реализации предлагаемых технических решений увеличивается в 1,5 раза.

ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ. СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ. КОМПЕНСАЦИЯ ЗУБЦОВЫХ ГАРМОНИК. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Кузнецов М.П., Стрижов В.В., Медведникова М.М. АЛГОРИТМ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ, ОПИСАННЫХ В РАНГОВЫХ ШКАЛАХ.

Предложен метод построения рангового интегрального индикатора на основе ранговой матрицы описаний, заданной экспертами, и трехшаговый итеративный алгоритм оценки параметров и весов признаков. Рассмотрена задача выбора наиболее информативных признаков. Работа проиллюстрирована задачей определения статуса редких видов, включенных в Красную книгу РФ.

МНОГОКЛАССОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ. ПОРЯДКОВЫЕ ШКАЛЫ. КРИВОЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ. ВЫБОР ПРИЗНАКОВ.

Филиппов Т.К. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ.

Описаны результаты исследований в области обработки и сжатия цифровых данных с применением вейвлет-преобразования, в частности, кодирования информации, применяемого в техническом анализе экономических данных.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ. ВЕЙВЛЕТ. СЖАТИЕ. ЦИФРОВЫЕ ДАННЫЕ.

Лыпарь Ю.И., Кацко И.А. МОДЕЛЬ МАШИНЫ ВЫВОДА ЗНАНИЙ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.

Предложена формализация синтеза базы знаний в области электроники и схемотехники на основе теории системного структурного проектирования объектов различного назначения.

БАЗА ЗНАНИЙ. СИНТЕЗ. СХЕМОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРОНИКА.

Ехлаков Ю.П., Сенченко П.В., Лазарев И.В. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА ЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.

Рассмотрены вопросы разработки и внедрения системы документооборота электронного генерального плана крупного промышленного предприятия. Предложен набор базовых функций и вариант реализации взаимодействия системы документооборота с другими подсистемами.

ДОКУМЕНТООБОРОТ. ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН. МЕЖСИСТЕМНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Агиевич В.А., Гимранов Р.Д., В.В.Таратухин ПРОБЛЕМА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ И ПОДХОД К ЕЕ РЕШЕНИЮ.

Одной из сложных задач построения корпоративной архитектуры крупных компаний является организация первоначального моделирования базовой архитектуры с поддержанием адекватности созданных моделей в условиях постоянных изменений. В основном эти изменения связаны с непрерывным внедрением новых ИТ-решений, а также модернизацией существующих. Описана проблема адекватности моделей корпоративной архитектуры и подход к ее решению, основанный на интегрировании моделей ИТ-решений.

КОРПОРАТИВНАЯ АРХИТЕКТУРА. АРХИТЕКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ. АРХИТЕКТУРА ИТ-РЕШЕНИЯ. МОДЕЛИРОВАНИЕ. TOGAF. КРУПНАЯ КОМПАНИЯ. ИТ-ПРОЕКТ.

ABSTRACTS

KEYWORDS

Blekanov I.S., Sergeev S.L., Martynenko I.A. THE CONSTRUCTION OF THE FOCUSED WEB-CRAWLER USING THE UNIVERSAL KERNEL.

The paper presents the universal kernel architecture of the web-crawler (created by the authors for the webometric research of information sources in the web-space and the construction of the focused web-crawlers), the quality indicators of different types of the web-crawlers and the main problems of foreign analogues. It also describes an experiment where compared the performance of the web-crawlers, based on universal kernel, with its foreign analogues.

WEB-SPACE. WEB. INFORMATIONAL WEB-RESOURCES. WEB-CRAWLER. FOCUSED WEB-CRAWLER. WEB-CRAWLER ARCHITECTURE. UNIVERSAL KERNEL. HYPERLINKED STRUCTURE.

Torgan Yu.N., Zubrilina T.V. USING NOSQL APPROACH OF DISTRIBUTED DATABASE SYSTEM.

The article presents the solution of scaling problem and performance of relational database, based on methods used in NoSQL databases (sharding and replication).

DATABASE. RDBMS. NOSQL. PARTITION. SHARDING. REPLICATION. INTEGRATION.

Moshkin A.A., Siverts M.A. METHODS OF MOBILE TERMINAL LOCATING IN WIRELESS INFO COMMUNICATION NETWORKS.

The purpose of this article is to make the reader familiar with some results of researching the methods of mobile objects locating in wireless info communication networks done by authors of the article.

The article includes the review of two new methods of localization and some results of experiments made in GSM networks.

WIRELESS INFO COMMUNICATION NETWORKS. MOBILE TERMINALS. LOCALIZATION. ACCURACY.

Sadovnikov V.Yu. OPTIMIZING ACCESS TO FMC SERVICES CONSIDERING TO CRITERIA OF UNIFORM DISTRIBUTION OF TRAFFIC LOAD BETWEEN ACCESS NETWORKS AND SUBSCRIBER MIGRATION.

The article represents optimizing method of adaptive access to convergent services considering to network configurations via heterogeneous access networks in case of Always Best Connected (ABC) concept. Algorithms of uniform traffic load distribution and load balancing between access networks are presented and used to effectively utilize network resource.

ACCESS NETWORKS. LOAD. TRAFFIC. ALGORITHMS. INCREASE OF EFFICIENCY. OPTIMIZATION.

Kutergin A.O. NEOCOGNITRON USE IN SOLVING THE PROBLEM RECOGNITION OF ACTION ON VIDEO STREAM.

This article is devoted to the recognition of object's actions at the video stream. There is the technique of representing the spatial-temporal characteristics of the object's action obtained by solving the equation of optical flow, to a form suitable for submission to the input of the neural network type «neocognitron»

NEOCOGNITRON. COMPUTER VISION. THE LUCAS-KANADA METHOD.

Tyurin S.F., Grekov A.V., Korzhev V.S. MOVING BACKUP WITH RECOVERY ON THE BASIS OF THE ELEMENTS WITH EXCESS BASIS.

To increase the reliability of configurable logic blocks (CLB) of the programmable logic devices (PLD) proposed the introduction of passive-active fault sliding redundant channels of configurable logic blocks based on the elements with a redundant basis for restoring items with full basis of several failed, but retained the basis.

RELIABILITY. CONFIGURABLE LOGIC BLOCKS. PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE. PASSIVE AND ACTIVE FAULT. PROBABILITY OF FAILURE RATE. MOVING UP. THE EXCESS BASE-FUNCTIONALLY COMPLETE TOLERANT ELEMENT. BASIS.

Sukhov I.A., Akimov V.P. MUSIC ALGORITHM APPLICATION TO CIRCULAR DIRECTION-FINDING ANTENNA ARRAY OF DIRECTIONAL ANTENNAS.

The features of MUSIC direction-finding algorithm applied to the circular antenna array are discussed. Optimal antenna characteristics and direction-finding accuracy are estimated. The case of two incident signals is also considered.

MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION. CIRCULAR ANTENNA ARRAY. DIRECTION-FINDING. DIRECTION-FINDING ALGORITHM. DIRECTIONAL DIAGRAM.

Korotkov A.S., Rumyancev I.A. POWER AMPLIFIER BEHAVIORAL MODELS WITH MEMORY.

The article presents power amplifier behavioral models with uniform and nonuniform memory elements sampling. Simulation results of class E power amplifier behavioral models are presented.

BEHAVIORAL MODELS. MEMORY EFFECT. POWER AMPLIFIER.

Volkova V.N., Mikeladze B.D. MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF MANAGEMENT DESIGNING INNOVATION MULTIFUNCTIONAL COMPLEX.

An approach to designing innovation multi-functional management of complexes, based on a multidimensional representation of the structure of the management process design and implementation of the project MC. An example of the developed methodology based on this design management. Discusses methods of organizing the complex expertise to implement this procedure, based on information models.

INFORMATION MODELS. METHODS. MULTI-DIMENSIONAL STRUCTURE OF THE MULTIFUNCTIONAL COMPLEX APPROACH. THE CONTROL SYSTEM DESIGNING. STRATIFIED REPRESENTATION.

Yagudin R.R. SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEM OF PACKING OF THE POLYHEDRONS INTO A PARALLELEPIPED AREA BASED ON THE NO-FIT POLYHEDRON CONSTRUCTION.

The current work considers the problem of dense packing of a non-convex polyhedrons into a minimal height parallelepiped container. The no-fit polyhedron based algorithm is proposed to solve described task. The no-fit polyhedrons is used not only for providing conditions of the polyhedrons mutual non-intersection but also for finding the placement points. Some examples and computational results are also given for public input data.

PACKING. NO-FIT POLYHEDRON. MUTUAL NON-INTERSECTION CONDITIONS. OPTIMIZATION.

Dmitriev K.S. A MODEL FOR HETEROGENEOUS DATA INTEGRATION.

The paper provides a view of semantically inconsistent data integration problem. A mathematical model is constructed to integrate semantically heterogeneous data. Criteria and ratios are proposed to estimate heterogeneity.

DATA. RELATIONAL ALGEBRA. RELEVANCY. INTEGRITY. OPTIMIZATION.

Ilyasov B.G., Degtyareva I.V., Makarova E.A., Valitov R.R. POPULATION INCOME REGULATION AND ANALYSIS OF THEIR INFLUENCE ON THE DYNAMICS OF AGGREGATE EXPENDITURE WITH DYNAMIC SIMULATION.

Cognitive model of macroeconomic system with population incomes and expenditures differentiation are suggested. The algorithms of social transfers and taxation at dynamic model of macroeconomic system are considered. The experimental results of described algorithms influence on the social-economic indicators of macroeconomic model are produced.

MACROECONOMIC SYSTEM. HOUSEHOLDS INCOME AND EXPENDITURE. INCOME DIFFERENTIATION. SOCIAL TRANSFERS. PROGRESSIVE TAXATION. DYNAMIC MODEL.

Gvozdev V.E., Abdrafikov M.A. THE ESTIMATION OF RELIABILITY CHARACTERISTICS BOUNDARY VALUES OF RADIO ELECTRONIC SWITCHING SYSTEMS FUNCTIONAL UNITS OF THIS SERVICE-CONTROLLED.

The article offers a new approach to the statistical analysis of the reliability characteristics, oriented to providing of the reliable functioning of responsible setting wares, which is based on the estimation of the reliability characteristics boundary values.

On the basis of the conducted research the developed engineering techniques, which can be represented in the form of a specialized software product, which will allow use of the mathematical apparatus of the specialists, not deeply familiar with the apparatus of order statistics.

RELIABILITY. SMALL SAMPLE. DISTRIBUTION LAW. SERIAL STATISTICIANS. EXTREME STATISTICIANS.



Sheinman I.Ya., Shabrov N.N., Kiev V.A., Snegirev A.Yu., Tsoy A.S. SCALABILITY OF THE OPEN SOURCE SOFTWARE FOR CFD FIRE MODELING.

This paper presents scalability examination of two open-source software tools for fire modeling (FireFOAM and FDS). We investigated acceleration and efficiency of parallel simulations depending on the number of processors used and workload distribution over the cluster nodes. It has been established that FireFOAM scalability becomes almost linear and efficiency approaches 80 % when computational mesh is sufficiently fine.

PARALLEL COMPUTING. FIRE MODELING. OPEN-SOURCE SOFTWARE. FIREFOAM. FDS.

Spassky Ya.B. ESSENTIAL PROBLEMS OF AUTOMATION FOR TECHNOLOGICAL DESIGN OF COMPLICATED DISTRIBUTED MAN-MACHINE SYSTEMS – EVIDENCE FROM PORT TERMINALS.

Problems of technological designing of seaports and terminals as typical examples of complicated man-machine systems, consisting in necessity to reduce time and increase construction efficiency of similar objects and caused by absolutely untenable level of automation are considered. Efficiency of simulation modeling application to solve this problem is shown and the corresponding technique is offered.

AUTOMATION. TECHNOLOGICAL DESIGN. SIMULATION MODELLING. PORT. TERMINAL.

Gollandzev Yu.A., Ivanov V.G., Turusov S.N. INVERTED ALTERNATING-CURRENT CONVERTED-FED MOTOR WITH HIGH- COERCIVE PERMANENT MAGNET.

Introduced design for inverted alternating-current converted-fed motor magnet field system, made with high-coercive permanent magnet Halbach array. Introduced method of exist slot ripple compensation. Shown simulations' results confirm efficiency of introduced decisions. Result of introduced decisions is starting torque distribution amplitude increasing 1,5 times as much.

ALTERNATING-CURRENT CONVERTED-FED MOTOR. FIELD SYSTEM. SLOT RIPPLE COMPENSATION. MATHEMATIC SIMULATION.

Kuznetsov M.P, Strijov V.V., Medvednikova M.M. MULTICLASS CLASSIFICATION OF OBJECTS WITH THE RANK-SCALED DESCRIPTION.

The authors propose a method of an integral indicator construction based on the rank-scaled description matrix given by an expert. The authors propose three-step iterative algorithm to estimate correction parameters and features weights. The feature selection problem is investigated. The method illustrated with the problem of classification of the Red book of Russian Federation rare species statuses.

MULTICLASS CLASSIFICATION. ORDINAL SCALES. CURVILINEAR REGRESSION. FEATURE SELECTION.

Filippov T.K. APPLICATION OF WAVELET-TRANSFORMATION OF INFORMATION IN TECHNICAL ANALYSIS OF ECONOMIC DATA.

The results of work in the field of processing and compression of digital data using wavelet-transformation, in particular coding information used in technical analysis of economic data.

VISUALIZATION. WAVELET. COMPRESSION. DIGITAL DATA.

Lypar Yu.I., Katsko I.A. MODEL CAR DISPLAY KNOWLEDGE EXAMPLE OF ANALOG ELECTRONIC DEVICES.

Proposed formalization of synthesis knowledge base in electronics and circuit design based on the theory of system structural design of various facilities.

KNOWLEDGE BASE. SYNTHESIS. CIRCUIT. ELECTRONICS.

Ehlaikov Yu.P., Senchenko P.V., Lazarev I.V. DOCFLOW OF MANAGEMENT ELECTRONIC MASTER PLAN FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES.

In clause considered the problems of developing and implementing docflow of management electronic master plan for a large industrial enterprise. Set of basic functions docflow system and interactions of with other subsystems was proposed.

DOCFLOW. MASTER PLAN. CROSS-SYSTEM INTERACTIONS. INFORMATION TECHNOLOGY.

Agievich V.A., Gimranov R.D., Taratukhin V.V. THE PROBLEM OF ENTERPRISE ARCHITECTURE MODELS ADEQUACY AND AN APPROACH TO SOLVING IT.

One of the challenges of Enterprise Architecture (EA) in large companies is organizing processes of baseline EA development and change management under conditions of steady change that are introduced mostly by implemented and changed IT solutions. The research paper describes a new approach of developing and keeping relevant baseline EA models on the basis of Solution Architecture models integration.

ENTERPRISE ARCHITECTURE. SOLUTION ARCHITECTURE. IT-SOLUTION. IT-PROJECT. MODELLING. TOGAF. LARGE COMPANY.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ИНФОРМАТИКА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. УПРАВЛЕНИЕ**

№ 5 (157) 2012

Учредитель – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Издание зарегистрировано в Госкомпечати РФ, свидетельство № 013165 от 23.12.94

Редакция журнала

канд. техн. наук, д-р экон. наук, профессор *А.В. Бабкин* – научный редактор

Е.А. Калинина – литературный редактор, корректор

Г.А. Пышкина – ответственный секретарь, выпускающий редактор

Телефон редакции 552-62-16, 297-18-21

E-mail: infocom@spbstu.ru

Компьютерная верстка *А.Н. Смирнов*

Директор Издательства Политехнического университета *А.В. Иванов*

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано в печать 25.10.2012. Формат 60×84 1/8. Бум. тип. № 1.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,34. Уч.-изд. л. 15,34. Тираж 1000. Заказ

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Издательство Политехнического университета
член Издательско-полиграфической ассоциации университетов России
Адрес университета и издательства: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ

в журнале «Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление»

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Журнал «Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление» является периодическим печатным научным рецензируемым изданием. Он зарегистрирован в Госкомпечати РФ (свидетельство № 013165 от 23.12.94) и распространяется по подписке агентства «Роспечать».

Журнал с 2002 года входит в Перечень ведущих научных рецензируемых журналов и изданий (перечень ВАК) и принимает для печати материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук по следующим основным научным направлениям: ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ, ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. Научные направления журнала учитываются ВАК Минобрнауки РФ при защите докторских и кандидатских диссертаций в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников.

Сведения о публикации представлены в Реферативном журнале ВИНИТИ РАН, в международной справочной системе «Ulrich's Periodical Directory».

Периодичность выхода журнала – 6 номеров в год.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ МАТЕРИАЛАМ

2.1. Оформление материалов

1. Объем статей докторов наук, профессоров, докторантов, соискателей ученой степени доктора наук, как правило, 12–20 страниц формата А-4. Количество рисунков не должно превышать 5, таблиц – 4, литературных источников – 15.

2. Объем статей преподавателей, сотрудников, аспирантов, соискателей ученой степени кандидата наук, как правило, 8–15 страниц формата А-4, объем статей аспирантов – 8 страниц формата А-4. Количество рисунков не должно превышать 4, таблиц – 3, литературных источников – 10.

3. Авторы должны придерживаться следующей обобщенной структуры статьи: вводная часть (0,5–1 стр., актуальность, существующие проблемы); основная часть (постановка и описание задачи, изложение и суть основных результатов); заключительная часть (0,5–1 стр., предложения, выводы), список литературы (оформление по ГОСТ 7.1-2003).

4. Число авторов статьи не должно превышать трех человек.

5. Набор текста осуществляется в редакторе **MS Word**, формулы – в редакторе **MS Equation 3.0** или **MythType**. Таблицы набираются в том же формате, что и основной текст.

6. Шрифт – TNR, размер шрифта основного текста – 14, интервал – 1,5, таблицы большого размера могут быть набраны 12 кеглем. Параметры страницы: поля слева – 3 см, сверху, снизу – 2,5 см, справа – 2 см, текст размещается без переносов. Абзацный отступ – 1 см.

2.2. Представление материалов

Вместе с материалами статьи должны быть обязательно представлены:

- номер УДК в соответствии с классификатором (в заголовке статьи);
- аннотация (2–3 предложения) на русском и английском языках;
- ключевые слова (5–7) на русском и английском языках;
- сведения об авторах: ФИО, место работы, должность, ученое звание, ученая степень, контактные телефоны, e-mail;

- аспиранты представляют документ отдела аспирантуры, заверенный печатью;
- рекомендация на имя зам. главного редактора журнала, подписанная научным руководителем автора и/или руководителем подразделения. Рекомендация должна быть **ОБЯЗАТЕЛЬНО** заверена в отделе кадров;
- рецензия на имя зам. главного редактора, подписанная специалистом, имеющим ученую степень доктора наук и/или ученое звание профессора. Рецензия должна быть **ОБЯЗАТЕЛЬНО** заверена в отделе кадров. Рецензент несет ответственность за содержание статьи, достоверность представленных материалов.

При необходимости редколлегия может потребовать представления акта экспертизы, о чем она сообщает автору (авторам).

Предоставление всех материалов осуществляется по электронной почте на адрес редакции: **infocom@spbstu.ru** .

2.3. Рассмотрение материалов

Предоставленные материалы (п. 2.2) первоначально рассматриваются редакционной коллегией и передаются для рецензирования. После одобрения материалов, согласования различных вопросов с автором (при необходимости) редакционная коллегия сообщает автору решение об опубликовании статьи. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

При отклонении материалов из-за нарушения сроков подачи, требований по оформлению или как не отвечающих тематике журнала материалы не публикуются и не возвращаются.

Редакционная коллегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

Публикация материалов аспирантов очной бюджетной формы обучения осуществляется бесплатно в соответствии с очередностью.

При поступлении в редакцию значительного количества статей их прием в очередной номер может закончиться **ДОСРОЧНО**.

Более подробную информацию можно получить по телефону/факсу редакции:

8(812) 552-62-16 с 10⁰⁰ до 18⁰⁰ Галина Александровна

или по e-mail: infocom@spbstu.ru