

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА**
№ 4, 2015

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE**
No 4, 2015



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Федор Иванович Пантелеенко

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботко, Р. Венерстен (Швеция),
В. А. Ганэ, Н. Н. Гурский, Ю. М. Захарик, Э. Г. Лазаревич,
А. А. Лобаты, В. А. Мищенко, А. Патрин (Польша),
И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов, П. П. Урбанович,
А. Н. Чичко, В. Б. Байбури (Россия),
Е. И. Никифорович (Украина)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Phyodor Panteleenko

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief),
V. Bogush, T. Borbotko, P. Venersten (Sweden),
V. Ganeh, N. Gurskiy, J. Zaharik, E. Lazarevich,
A. Lobaty, V. Mishchenko, A. Patrin (Poland),
I. Satikov, V. Starovoytov, P. Urbanovich,
A. Chichko, V. Bayburin (Russia),
E. Nikiforovich (Ukraine)

Содержание

Contents

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Скалабан А., Юрик И.

Системы авторской идентификации как инстру-
менты повышения видимости научных публикаций
в Интернете..... 4

Дудкин А. А.

Нечеткая нейронная сеть для идентификации объ-
ектов на изображениях топологических слоев инте-
гральных микросхем 11

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Imad Elzein, Петренко Ю. Н.

Прогнозирующая модель управления системой
обеспечения максимальной выходной мощности
фотоэлектрической станции..... 17

**ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ
РЕШЕНИЙ**

Кондратёнок Е. В., Кондратёнок В. А.

Система поддержки принятия решения при реали-
зации адаптивного учебного ресурса 27

Золотарев С. А., Мирзаванд М. А.

Быстрая итерационная киловольтная томография
в коническом пучке лучей 31

Абуфанас А. С., Лобаты А. А.

Принятие решений при выборе объектов по крите-
риям эффективности 36

SYSTEM ANALYSIS

Skalaban A., Yurik I.

Author's identification systems as an instrument for
enhancing of research publication visibility on the web 4

Doudkin A. A.

Fuzzy neural network for object identification on inte-
grated circuit layouts 11

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Imad Elzein, Petrenko Y. N.

Model predictive control for photovoltaic station ma-
ximum power point tracking system 17

DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING

Kondratyonok E. V., Kondratyonok V. A.

Decision support system in the adaptive teaching re-
source implementation 27

Zolotarev S. A., Mirzavand M. A.

Fast iterative kilovoltage cone beam tomography 31

Abufanas A. S., Lobaty A. A.

Decision-making in the selection of objects according
to the criteria of efficiency 36

**Бурак Т. И., Татур М. М., Лукашевич М. М.,
Трашеев Р. В.**
Методика моделирования сложных экобиологиче-
ских систем 40

Лавриченко О. В.
Когнитивное моделирование на базе неманипули-
руемых механизмов принятия управленческих ре-
шений 45

Качанов П. А., Зуев А. А., Яценко К. Н.
Эффект проекции Панини как средство уменьше-
ния перспективных искажений 49

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Соколов А. В.
Процессорно-ориентированные нелинейные пре-
образования на основе полных классов изоморф-
ных и автоморфных представлений полей GF(512)
и GF(1024) 55

**Burak T. I., Tatur M. M., Lukashevich M. M.,
Trashcheev R. V.**
Eco-biological system modeling 40

Lavrichenko O. V.
Cognitive modeling based on nonmanipulable mecha-
nisms of the management decision making 45

Kachanov P. A., Zuev A. A., Yatsenko K. N.
Panini projection effect as means of reducing perspec-
tive distortions 49

INFORMATION SECURITY

Sokolov A. V.
Processor-oriented nonlinear transform based on the
full classes of isomorphic and automorphic representa-
tion of Galois fields GF(512) and GF(1024) 55

Ответственный секретарь редакции

Лакин В. И.

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск,
220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

V. Lakin

Editorial board address

25/3 Franciska Skariny str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации
№ 1540 от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 15.12.2015. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Ризография. Усл. печ. л. 7,67. Уч.-изд. л. 3,00. Тираж 150 экз. Заказ 960.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Пр. Независимости, 65, г. Минск, 220013

© Белорусский национальный технический университет

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 002.1:004.738.5

А. СКАЛАБАН, И. ЮРИК

СИСТЕМЫ АВТОРСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ВИДИМОСТИ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ В ИНТЕРНЕТ

Научная библиотека, Белорусский национальный технический университет

Рассмотрены некоторые проблемы, связанные с корректностью и полнотой исходных данных при измерении и оценке научной деятельности библиометрическими методами с использованием наукометрических баз данных. Приведен обзор основных систем идентификации авторов. Предложены рекомендации по устранению выявленных проблем и продвижению авторов в мировое научно-информационное пространство.

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь для анализа и оценки результатов научной деятельности наряду с традиционными методами – экспертными оценками (отзывами, рецензиями, мнениями экспертов, рецензентов, научных редакторов и др.), все активнее используются библиометрические индикаторы, связанные с учетом числа публикаций и их цитируемостью. Библиометрические данные используются в научной политике и управлении финансированием науки; в национальных программах развития науки и национальных системах оценки результатов научных исследований; при составлении международных и национальных рейтингов вузов и др.

Данные библиометрического анализа позволяют сделать значимые (обоснованные) сравнения научных организаций, дисциплин и стран, но лишь в том случае, если они используются корректно. О необходимости грамотной и аккуратной трактовки наукометрических индикаторов, о проблеме «злоупотреблений цитированием» еще в 60-е годы прошлого века писал один из основоположников библиометрии и наукометрии Ю. Гарфилд. Это проблема не теряет своей актуальности и сегодня. «С одной стороны, это связано с легкостью манипулирования массмедиа этими показателями, с другой стороны – с безответственностью малокомпетентных «специалистов» и администра-

торов науки, с легкостью берущихся за выполнение такой оценки» [1].

Именно в ответ на «игры с цитированием» в 2010 году появился манифест альметрики, предлагающий способы оценки публикаций, отличные от анализа цитирований. Затем в декабре 2012 года на свет появилась декларация по оценке науки – Declaration on Research Assessment (DORA), принятая Американским обществом клеточной биологии (The American Society for Cell Biology (ASCB)). К настоящему времени под ней уже поставили свои подписи 10 668 ученых и 467 организаций [2]. И, наконец, в апреле 2015 года представителями наукометрического сообщества был разработан Лейденский манифест по наукометрии, провозглашающий 10 принципов «в оценке исследовательской деятельности, основанной на наукометрии, с тем, чтобы ученые могли бы проверять тех, кто их оценивает, а «оценщики» могли бы проверять свои индикаторы» [3]. Полагаем, что знакомство с данными документами будет полезно всем представителям отечественного научного сообщества.

В рамках нашей статьи мы хотели бы обратить внимание на проблемы, связанные с корректностью и полнотой исходных данных при измерении и оценке научной деятельности библиометрическими методами, поскольку проблема учета и оценки результатов научной деятельности находится сегодня в фокусе интере-

сов не только государства, в лице чиновников от науки; руководителей научных организаций; самих ученых; но и организаций и исследователей, профессионально специализирующихся в области наукометрии, сбора, систематизации и распространения научной информации, в том числе академических и научных вузовских библиотек.

В настоящее время для библиометрического анализа используются наукометрические базы данных (индексы цитирования) и веб-сервисы, позволяющие в автоматизированном режиме проводить комплексную обработку данных. Наиболее известные среди них: Web of Science (далее – WoS) (производитель Thomson Reuters), Scopus (Elsevier), Google Scholar (Google), Российский индекс научного цитирования (далее – РИНЦ) (Научная электронная библиотека eLIBRARY. RU), а также такие веб-инструменты, как InCites (на основе WoS) и SciVal (на основе Scopus).

Индексы цитирования позволяют осуществлять автоматизированный сбор и анализ библиометрических показателей и, как следствие, дают возможность автоматического расчета соответствующих индексов. «Востребованность их объясняется, с одной стороны, желанием самих ученых вывести «магическую цифру», сводящую в одном или нескольких числах все таланты и заслуги соратников по цеху, а с другой – стремлением администраторов от науки получить объективные показатели ценности результатов деятельности ученого, научной или образовательной организации или научно-го направления. Но не так все просто [4]».

За кажущейся легкостью расчета показателей научной результативности с помощью баз данных научного цитирования скрываются многочисленные подводные камни. За рамками нашей статьи мы оставим те, которые связаны с особенностями публикаций и цитирований в разных научных областях, как, например: практика соавторства и способы счета статей, написанных несколькими авторами; распределение по типам публикаций; различный уровень цитирования; хронология распределения ссылок и др. В данном контексте лишь приведем мнение специалистов в области наукометрии: «...по таким стандартным показателям, как среднее цитирование публикаций или индекс Хирша и его вариации, проводить срав-

нение результативности научной деятельности научных коллективов или отдельных авторов, работающих в разных научных направлениях, представляется весьма затруднительным» [1]. Цель нашей статьи – озвучить некоторые проблемы идентификации данных научных публикаций в индексах цитирования и определить пути их решения.

Проблемы идентификации данных в индексах цитирования и пути их решения

Поскольку различные источники информации о публикациях для оценки научной деятельности формируются по различным принципам, необходимо указывать на основе какого инструмента производится библиометрический анализ. Следует иметь в виду, что показатели, рассчитанные с использованием одной и той же методики, в разных источниках будут иметь разные значения, поскольку расчет в каждом конкретном ресурсе осуществляется на основе информации (источников), содержащихся именно в данном ресурсе (табл. 1).

Так, WoS и Scopus индексирует наиболее значимые в мире журналы в каждой области знаний, труды конференций и, с недавнего времени, книги; РИНЦ – российскую научную периодику и ряд научных журналов стран СНГ; Google Scholar – данные из открытых источников информации (репозитории, журналы открытого доступа и др.). Отличается и глубина архивов (с 1900 г. в WoS, с 1823 Scopus и приблизительно 2000-й – в РИНЦ).

Основное отличие WoS и Scopus заключается в том, что в Scopus при подписке доступ дается ко всему архиву, тогда как ретроспектива баз данных WoS зависит от суммы оплаченных средств, что напрямую влияет на отображаемые показатели.

Международные индексы цитирования WoS и Scopus – это библиографические/реферативные базы данных, в которых собирается и обрабатывается полная библиографическая информация о научных статьях, аннотации/рефераты и пристатейные списки цитируемой в статьях литературы. Полных текстов статей в указанных базах данных нет. В качестве отличительной характеристики РИНЦ и Google Scholar можно привести наличие полных текстов.

В Беларуси лицензии на доступ к ним имеют: WoS – Центральная научная библиотека

Т а б л и ц а 1. Сравнительный анализ наукометрических инструментов

Инструменты	Массив индексируемых данных	Вид доступа	Глубина архива	Отличительная характеристика	Способы анализа и оценки
Международный индекс цитирования Web of Science (WoS) (Thomson Reuters, 2002)	Более 12000 наиболее значимые журналы в каждой области знания, труды конференций, незначительное количество книг	Подписная база данных, для доступа к которой необходима платная подписка той организации, к которой вы относитесь	с 1900 г.	Ретроспектива БД в конкретной организации зависит от суммы оплаченных средств, что напрямую влияет на отображаемые показатели	Учет числа публикаций, цитирований
Международный индекс цитирования Scopus (Elsevier, 2004)	Более 20000 научных и отраслевых журналов, труды конференций, книжные серии, монографии	Подписная база данных, для доступа необходима платная подписка к той организации, к которой вы относитесь	с 1823 г.	Доступ ко всему архиву, показатели рассчитываются, учитывая журналы с 1996 года, для некоторых журналов крупных издательств – с 1970	Учет числа публикаций, цитирований
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) (Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, 2005)	Научные публикации России и стран СНГ	Доступ бесплатный	с 2000 г.	Наличие полных текстов.	Учет числа публикаций, цитирований
Google Scholar (Google, 2004)	Научно-образовательные ресурсы, доступные в Интернет в репозиториях, журналах открытого доступа, списках процитированной найденной в статьях литературы и др.	Доступ бесплатный	нет данных	Наличие полных текстов	Учет числа публикаций, цитирований

им. Я. Коласа НАН Беларуси; Scopus – Центральная научная библиотека им. Я. Коласа НАН Беларуси, БелСХБ, Научная библиотека БНТУ.

Существенной проблемой, затрудняющей корректный подсчет публикаций и цитирований отдельного автора или научного коллектива в WoS и Scopus является отсутствие однозначной идентификации объектов. В каких случаях могут быть потеряны данные:

- при множественности написания фамилии автора (использование различных схем транслитерации; написание фамилии автора с различным количеством инициалов, смена женских фамилий после замужества, наличии опечаток и пр. [5]);
- при отсутствии в статье данных о месте работы автора либо при наличии нескольких вариантов наименования организации, к которой относится автор (в поле «affiliation» название организации, ее адрес переносятся автоматически).

Как следствие – погрешности в количестве публикаций, цитирований, и соответственно значениях индекса Хирша и др., некорректные итоговые сведения о научных достижениях автора/научного коллектива/региона.

Проблема идентификации данных существует также в РИНЦ и Google Scholar, они несколько отличаются от зарубежных баз данных, на них остановимся далее.

Во многом эти проблемы решаются с помощью уникальных идентификаторов, существующих в виде отдельных инструментов или встроенных в базы данных.

Существует некоторое количество таких систем. Например, Thomson Reuters создан специальный инструмент объединения и корректировки данных автора, связанный с WoS, – авторский профиль **ResearcherID**; в Scopus авторский профиль **Author ID** формируется автоматически для авторов, опубликовавших хотя бы 1 статью; **ORCID** (Open Researcher and Contributor ID) – самостоятельная система – реестр уникальных идентификаторов ученых, независимый от научных дисциплин и национальных границ, синхронизируется с другими системами идентификации, например, с **ResearcherID** и **Author ID**; в РИНЦ создана специальная аналитическая надстройка **SCIENCE INDEX**; в Google Scholar – персональный профиль автора.

Однозначно определить все свои публикации может только сам автор, поэтому настоя-

тельно рекомендуется ученым регистрироваться в системах идентификации и работать со своими персональными профилями. Кроме этого, регистрация авторов в системах идентификации значительно улучшает видимость их работ в мировом научно-информационном пространстве.

Рассмотрим подробнее каждую из приведенных ранее систем идентификации.

ResearcherID – это свободное, общедоступное интерактивное пространство для создания индивидуального номера и персонального профиля. Зарегистрироваться в системе можно на одноименном сайте <http://www.researcherid.com>. Введенные сведения не подвергаются модерации. Не требуется регистрации в системе в том случае, если автор относится к организации, имеющей лицензию на доступ к WoS, и ранее был зарегистрирован в ней. Преимущества регистрации в ResearcherID:

- создание полного списка своих публикаций тремя способами: 1) путем поиска в WoS и сохранения результата; 2) посредством загрузки из библиографического менеджера End-Note; 3) импорт внешних файлов в формате RIS, содержащих статьи, отсутствующие в WoS;
- исключение из своего списка публикаций однофамильцев;
- поиск в WoS по номеру профиля ResearcherID и нахождение всех индексируемых публикаций автора, даже при наличии ошибок и разных вариантов написания его фамилии;
- определение наукометрических показателей (анализ цитирований автора будет проводиться только по статьям, проиндексированным в WoS);
- поиск партнеров и др.

Потенциал **ResearcherID** пока не оценен в должной мере белорусскими исследователями, об этом свидетельствуют статистические данные, полученные нами в результате анализа этой системы. Так, по состоянию на 1.12.2014 в **ResearcherID** зарегистрировано 155 пользователей из Беларуси, для сравнения – Россия представлена 32330 пользователями, Украина – 1130, Казахстан – 1869, Польша – 7690, США – 66614. Статистика по научным организациям представлена в табл. 2.

Уникальный идентификатор автора **Scopus Author ID** присваивается при опубликовании даже одной статьи, индексируемой Scopus. Он

Таблица 2. Статистика зарегистрированных пользователей в ResearcherID по научным организациям Беларуси

Название организации	Количество пользователей
Belarus State University	29
Belarus State Technological University, BSTU	9
B. I. Stepanov Institute of Physics	8
Belarusian National Technical University	7
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics	6
Brest State Technical University	5
Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education	4

выполняет функцию независимого от статьи источника информации, аккумулируя информацию о местах работы автора, количестве его публикаций и их цитируемости, годах публикационной активности, области исследований, соавторах, индексе Хирша, списке использованных в работах литературных источников и пр. Прямой доступ к редактированию своего профиля автор не имеет, вместе с тем уточнить свою библиографическую информацию он может. При наличии доступа к базе данных через свой профиль в Scopus, а при его отсутствии через ссылку <http://www.scopusfeedback.com/>, автор может самостоятельно сделать следующее:

- объединить несколько своих профилей в один;
- уточнить информацию на уровне статей, отмечая свои и исключая чужие публикации в процессе работы со списком;
- выделить все свои статьи и послать запрос по электронной почте в техническую службу Scopus.

Подобную работу может провести не только сам автор. Например, в Белорусском национальном техническом университете (далее – БНТУ) сотрудники Научной библиотеки осуществляли поиск и анализ множественных профилей университета и работающих в нем авторов. Хорошим подспорьем в этой работе стала генерируемая библиотекой база данных трудов научных работников БНТУ. В результате анализа данных в Scopus было обнаружено 27 вариантов названий БНТУ и 170 статей авторов, работающих в университете, но не связанных с его профилем. Был отправлен запрос в службу поддержки. Профили были объединены. В итоге количество статей БНТУ в Scopus увеличилось на 700.

ORCID (Open Researcher and Contributor ID) – совместная разработка нескольких издательств, университетов, научных сообществ. Адрес входа в систему – <http://orcid.org/>.

Основной целью системы является – решить проблему идентификации ученых с одинаковыми именами и фамилиями. **ORCID** обеспечивает следующие функции:

- получение уникального идентификатора и ведение соответствующей учетной записи об исследовательской деятельности;
- программное обеспечение для межсистемной коммуникации.

Следует отметить, что данный номер от авторов последнее время часто требуют издательство во время отправки рукописи в журнал. Таким образом, этот номер, отсылающий к отредактированному списку публикаций автора, является своеобразной визитной карточкой автора, поскольку информация видна редактору и (иногда) рецензентам.

Учетная запись **ORCID** включает в себя информацию об имени ученого, его электронном адресе, названии организации и его исследовательской деятельности. **ORCID** учитывает необходимость контроля за распространением этих данных и предоставляет соответствующие инструменты для управления уровнем приватности данных.

ID представляет собой 16-значный числовой код, согласованный со стандартом ISO (ISO 27729). **ORCID ID** – это URI, поэтому отображается как адрес вида <http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>.

Записи в **ORCID** хорошо синхронизируются с записями в базе данных Scopus: во-первых, можно осуществлять перенос всех публикации автора из Scopus в **ORCID**, указав номер авторского профиля **Scopus Author ID**; во-вторых, если работы автора в Scopus присоединены к нескольким профилям, то при включении их в **ORCID** служба технической поддержки Scopus отредактирует профиль автора в базе данных.

Согласно принципам организации **ORCID**, участником этого проекта может стать любая организация научного сообщества. Для индивидуальных исследователей доступ к реестру **ORCID** предоставляется бесплатно. По состоянию на 1.12.2014 г. в системе было зарегистрировано 1 млн. пользователей и содержалось 5359470 работ.

SCIENCE INDEX – специальная аналитическая надстройка в РИНЦ, с помощью которой производится редактирование автором своих личных данных, а также анализ публикационной активности и цитируемости. Приводим данные статистики. По состоянию на 1 декабря 2014 г. всего в РИНЦ зарегистрировано 276491 авторов, из них 266632 – из России; 3671 – из Украины; 3397 – из Беларуси; 1096 – из Казахстана. При этом поиск по автору и стране (Беларусь) в РИНЦ дает результат – 9037.

В отличие от WoS и Scopus в РИНЦ нет проблемы с авторским множеством, однако есть другая – часть статей может быть не привязана к профилю автора. Анализ библиометрических показателей 10 самых цитируемых в РИНЦ белорусских авторов показал, что из 10 только 6, отмеченных символом звездочка «*» зарегистрированы в **SCIENCE INDEX**. Вполне вероятно, что сведения о публикациях и цитировании авторов, не прошедших регистрацию в РИНЦ, не полные.

Пищу для размышления сотрудникам и администрации учреждений высшего образования Беларуси (УВО) дает и анализ количества зарегистрированных в **SCIENCE INDEX** авторов по вузам (табл. 3).

Таблица 3. Топ-10 УВО Беларуси по числу зарегистрированных в **SCIENCE INDEX** авторов

N п/п	Название организации	Количество зарегистрированных авторов
1	Белорусский государственный медицинский университет	635
2	Гродненский государственный медицинский университет	443
3	Витебский государственный университет им. П. М. Машерова	294
4	Белорусская медицинская академия последипломного образования	207
5	Витебский государственный медицинский университет	199
6	Белорусский государственный университет	196
7	Витебская государственная академия ветеринарной медицины	131
8	Белорусский государственный технологический университет	64
9	Гродненский государственный университет им. Янки Купалы	57
10	Белорусский национальный технический университет	48

Улучшению представления научных результатов белорусских научных и образовательных организаций в РИНЦ могли бы способствовать следующие тактические шаги: 1) обязательная регистрация каждого публикуемого сотрудника в SCIENCE INDEX; 2) активная работа авторов, прошедших регистрацию, со своими списками – выявление «непривязанных» статей, поиск своих статей в приставной литературе и проч.; 3) расширение ассортимента белорусских научных журналов на платформе elibrary.ru (как по названию, так и по глубине архивов).

С точки зрения реальных показателей цитируемости для авторов из белорусских научных и образовательных учреждений Google Scholar представляет больший интерес, чем WoS или Scopus, поскольку система индексирует массив публикаций, размещенных в институциональных репозиториях (на 1.06.2015 в OpenDOAR зарегистрировано 15 репозиторий УВО Беларуси, объем документов – более 146000), а также другие источники на русском языке (научные журналы открытого доступа, материалы конференций, препринты и др.). Вместе с тем следует отметить, что эта система до сих пор находится в стадии бэта-версии, поэтому практически не может использоваться для официальных отчетов (лишь иногда ее включают как факультативную).

Для получения данных о публикациях для оценки научной деятельности с помощью Google Scholar авторам необходимо создавать личный профиль в этой системе, который, ко всему прочему, позволит сохранять результаты поиска; следить за цитированием интересующих работ; отслеживать отдельные работы или творчество отдельных авторов.

Вход в систему по адресу: <http://scholar.google.ru/>. Сначала необходимо создать новый аккаунт в Google или войти в уже существующий. Заполнение формы регистрации в Google Scholar осуществляется в три шага:

- 1 шаг – заполнение полей – имя, место работы, электронная почта для подтверждения, области интересов;
- 2 шаг – работа со статьями – необходимо указать именно свои статьи в списке, автоматически предложенном системой, а также можно добавлять публикации самостоятельно;

- 3 шаг – заполнение страницы профиля – установка параметров обновления профиля, загрузка фотографии и др.

Особо следует отметить функцию экспорта списка своих работ в другие системы идентификации авторов, как, например, **ResearcherID** и **ORCID**. В связи с этим авторам из белорусских научных и образовательных учреждений, чьи публикации размещены в институциональных репозиториях, мы рекомендуем сначала создавать персональные профили в Google Scholar, добавляя в них список собственных статей, а затем их экспортировать в другие системы идентификации авторов.

Преимущество Google Scholar как наукометрического инструмента – максимальная широта представленных материалов. Недостатки – в нее не попадают сведения из закрытых источников и публикации, отсутствующие в электронном виде (или упоминания о таковых); нет гарантии в достоверности данных, добавленных в свой личный профиль самим автором. Все зависит от того, насколько он соблюдает нормы научной этики.

Выводы

1. Обязательным условием при измерении и оценке научной деятельности библиометрическими методами является корректность и полнота исходных данных. Необходимо учитывать существующие в наукометрических инструментах проблемы с идентификацией авторов и организаций. Игнорирование может привести к занижению реальных показателей публикационной активности и цитируемости как отдельных авторов, так и научных коллективов в целом.

2. Во избежание ошибок и неточностей при индексировании публикаций научных и образовательных организаций возможно поможет строгая регламентация указания названия организации как места работы на административном уровне.

3. Регистрация в системах идентификации, а затем регулярная работа автора со своим профилем позволяет не только контролировать корректность представленных данных в различных наукометрических инструментах, но и улучшает видимость научных работ.

4. Особенностью современной научной коммуникации является формирование электронного научного пространства, а ее эффектив-

ность становится в большей мере зависимой от активного освоения и использования учеными разных форм электронной научной коммуникации. В связи с появлением альтернативных цитированию способов оценки научных результатов с помощью альметрик научным организациям и их сотрудникам следует принимать во внимание важность качественного присутствия в Интернет: в блогосфере, социальных сетях, в системах идентификации авторов, библиографических менеджерах.

Авторы выражают глубокую признательность М. А. Акоеву (заместителю директора Центра мониторинга науки и образования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина) и Н. А. Мазову (к. т. н., заведующему информационно-библиотечным центром Института нефтегазовой геологии и геофизики им. Академика А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск), чьи замечания и предложения были полезны для подготовки настоящей статьи.

Литература

1. **Руководство** по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии: [монография] / М. А. Акоев, В. А. Маркусова, О. В. Москалева, В. В. Писляков; [под ред. А. М. Акоева]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 250 с.
2. **Обновление** инструкции для авторов научных журналов: методические материалы / пер. с англ. А. В. Бажанова; пер. с англ. под ред. А. Ю. Гаспаряна, О. В. Кирилловой. – СПб.: Сев.-Зап. ин-т упр. – фил. РАНХиГС, 2015. – 48 с.
3. **Лейденский манифест** для наукометрии / Институт всеобщей истории Российской академии наук; перевод А. А. Исэрова. – Режим доступа: <http://www.igh.ru/about/news/1053/>
4. **Новиков**, Д. А. Померяемся «Хиршами»? (Размышления о наукометрии) / Д. А. Новиков // Высшее образование в России. – 2015. – № 2. – С. 5–13.
5. **Мазов**, Н. А. Роль единых идентификаторов в информационно-библиографических системах / Мазов Н. А., Гуреев В. Н. // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. – 2014. – № 9. – С. 32–37.

Поступила 04.11.15

A. SKALABAN, I. YURIK

AUTHOR'S IDENTIFICATION SYSTEMS AS AN INSTRUMENT FOR ENHANCING OF RESEARCH PUBLICATIONS VISIBILITY ON THE WEB

Belarusian National Technical University, Library

The purpose of the article is to give the reader some information on some problems related to the correctness and completeness of the initial data in the measurement and evaluation of scientific activity by bibliometric methods using scientometric databases. The article gives a detailed analysis of the main systems of identification of the authors. Recommendations to address the identified problems and the promotion of authors in the world scientific information space are described in the article.

УДК 007.001.362

А. А. ДУДКИН

НЕЧЕТКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СЛОЕВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» (ОИПИ НАН Беларуси)

Предложена новая структура нечеткой нейронной сети, которая представляет собой модификацию неокогнитрона для идентификации объектов топологии на полутоновых изображениях с искажениями яркости и смещения. Экспериментально показано, что разработанная нейронная сеть позволяет повысить точность идентификации.

Введение

Основной технологией изготовления сверхбольших интегральных схем является планарная технология, под которой понимают совокупность групповых технологических методов обработки участков монокристалла кремния, с помощью которых электронно-дырочные переходы получают локальной диффузией примесей с применением фотошаблонов. Как правило, большинство дефектов схем являются производственными и обусловлены технологией переноса рисунка топологии в поверхностный слой подложки методом фотолитографии.

Важной частью процесса производства интегральных микросхем являются процессы контроля качества формируемых топологических структур и соответствия топологии элементов проектной документации. Сложность процесса контроля связана с большим количеством очень маленьких элементов на фотошаблоне и нечетким изображением элементов, сформированном в системе автоматического контроля топологии [1]. Изображение представляет собой некоторое структурированное описание объекта (контактной площадки, контактного окна, диффузионного или металлизированного проводника и др.). Вследствие искажений объект имеет нечеткое описание как его яркостных характеристик, так и расположения. Поэтому перспективным направлением является разработка методов интеллектуального анализа дан-

ных (data mining) [2, 3]: нейронные сети, деревья решений, генетические алгоритмы, нечеткая логика и др. Среди нейронных сетей в настоящее время при анализе изображений топологии интегральных схем в data mining используются нейронные сети прямого распространения. При этом для их эффективного использования необходимо учитывать иерархию информационных признаков объектов. Наиболее подходящим для этой цели является неокогнитрон, который имеет иерархическую структуру слоев, ориентированную на моделирование зрительной системы человека [4].

В основе нечетких нейронных сетей лежит идея использования существующей выборки данных для определения параметров функций принадлежности, выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а для нахождения параметров функций принадлежности используются алгоритмы обучения нейронных сетей. Основным достоинством использования нечеткой логики в разработке интеллектуальных систем является то, что решения нечеткой логики, как правило, просты для проверки и оптимизации.

В статье предложена модель нечеткой нейронной сети на основе неокогнитрона [5] для идентификации полутоновых изображений топологии интегральных микросхем, имеющих искажения формы и цвета. Для идентификации объекта весь набор информативных при-

знаков должен удовлетворять заданным условиям.

Разработка способа построения нечетких множеств дескрипторов топологических объектов

Рассмотрим две матрицы $W = (w_{ij})$ и $A = (a_{ij})$, где W – матрица пикселей эталонного изображения; A – образ матрицы W с искажениями. Вводятся два параметра B и R , которые задают диапазоны нечеткости объектов. Параметр B определяет максимально допустимое расстояние между двумя пикселями изображения, которые считаются эквивалентными. Параметр R определяет максимально допустимое смещение пикселей эталона на изображении (образе). Теперь функция нечеткого различия матриц A и W определяется следующим образом:

$$fd(A, W) = \frac{100}{XY} \sum_{x,y} d_{x,y},$$

где X, Y – размеры матрицы W . Нечеткость в неоконитроне [5] учитывалась при определении функции путем вычисления введения дополнительных параметров нейрона, задающих для каждого пикселя минимальные и максимальные значения яркости в интервале изменения значения сдвига.

Для нечеткого представления яркости пикселей полутонового изображения введем три параметра B_{min} , B_{mid} и B_{max} , которые соответствуют значению пикселей минимальной, средней и максимальной яркости. Таким образом, яркости пикселей можно разделить на две категории – светлые и темные. Функции принадлежности пикселей определяются следующим образом:

$$f_{min} = e^{-\frac{(x-B_{min})^2}{2b^2}}, \quad f_{mid} = e^{-\frac{(x-B_{mid})^2}{2b^2}}, \quad (1)$$

$$f_{max} = e^{-\frac{(x-B_{max})^2}{2b^2}},$$

где x – яркость заданного пикселя, b – некоторая задаваемая пользователем окрестность для каждого пикселя. Для примера, график функции f_{mid} представлен на рис. 1.

Параметры функции принадлежности могут варьироваться в зависимости от яркостных параметров исходного изображения. На рис. 2 изображен фрагмент топологии интегральной микросхемы. Как видно, разделение по диапазону яркости изображения позволяет выделить

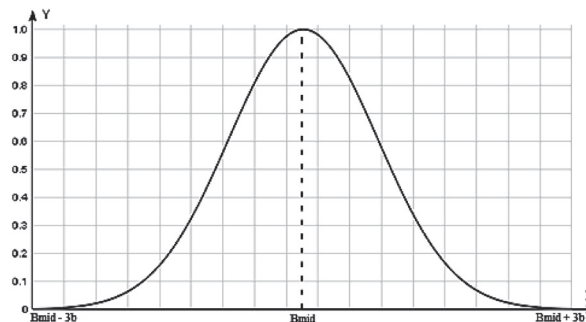


Рис. 1. Функция принадлежности пикселей со «средней» яркостью

(идентифицировать) структурные элементы топологического рисунка пластины (более светлые участки изображения соответствуют большему значению функции принадлежности).

Общая структура нечеткого нейрона представлена на рис. 3. В данной структуре выделено три блока, отвечающих за обработку исходного изображения с точки зрения «светлых», «средних», и «темных пикселей». За ними следует обобщающий блок, который анализирует результаты, полученные из предыдущих трех блоков. Таким образом, предложенная модель нейрона оперирует не яркостями пикселей, а значениями функций принадлежности пикселей к определенной группе яркости.

Нечеткая нейронная сеть (рис. 4) состоит из двух основных частей – блока нечетких правил, включающего слой F_1 фазификации и слой F_2 свертки функций принадлежности (T -нормирования), и многослойной сети типа неоконитрон.

На слой F_1 подается обрабатываемый образ, в результате получается три категории пикселей изображения – «светлые», «средние» и «темные». В слое F_2 реализованы основные нечеткие правила. Внутренние слои НС $S_1, \dots, S_{n-1}$ производят последовательную обработку поступающей информации, а выходной слой сети O генерирует ответ, в виде максимальной активности одного из своих нейронов (по числу идентифицируемых объектов). Каждый S -слой преобразует яркости пикселей изображения в значения активностей нейронов. Нейроны, выделяющие одинаковый признак на изображении, объединяются в одну группу (выделены жирными линиями). При этом, каждая группа нейронов содержит три типа нейронов – для обработки трех категорий пикселей изо-

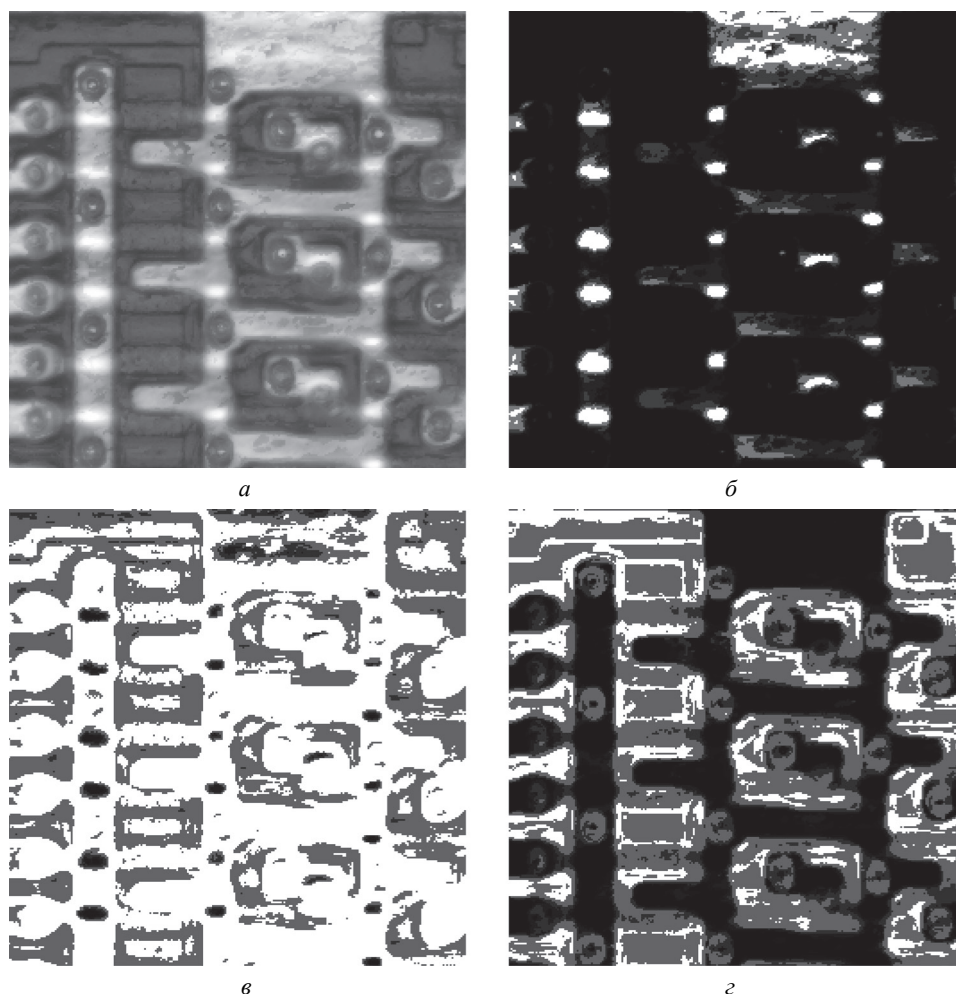


Рис. 2. – Нечеткое представление яркостей объектов: *а* – исходное изображение, *б* – изображение с выделенными светлыми участками, *в* – изображение с выделенными участками «средней» яркости, *г* – изображение с выделенными темными участками

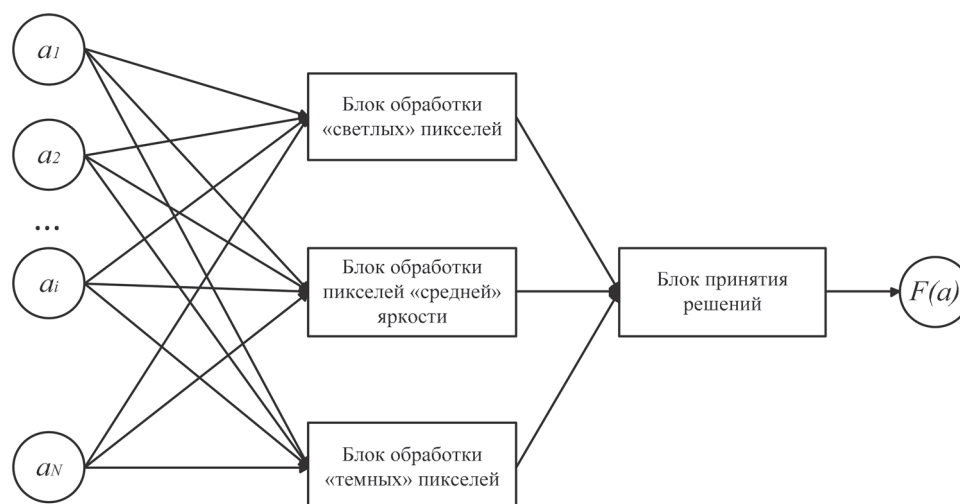


Рис. 3. – Обобщенная модель нечеткого нейрона

бражения – «светлых», «средних» и «темных». Исходными данными для активации каждого нейрона из отдельной группы является часть данных из предыдущего слоя с соответствующими

этому нейрону смещением. Смещение определяется в соответствии с положением нейрона внутри группы. Необходимо обратить внимание, что каждый нейрон имеет часть ре-

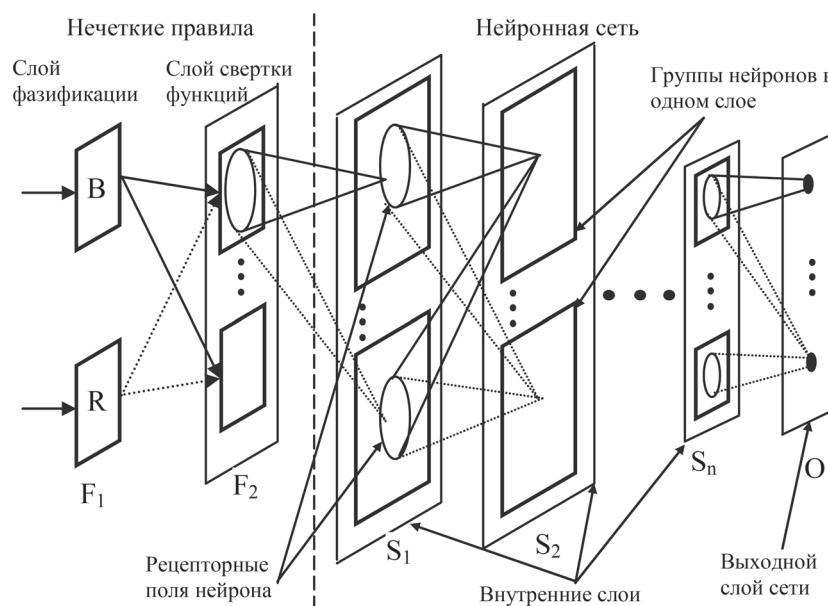


Рис. 4. – Структура нечеткой нейронной сети

цепторного поля в каждой из групп предыдущего слоя соответствующей категории.

Тестирование предложенной модели нечеткой нейронной сети выполнено при различной конфигурации сети (с различными значениями параметров яркостных и геометрических искажений B и R) на изображениях топологии интегральных микросхем, полученных на оборудовании «КБТЭМ-ОМО» [6]. В качестве обучающих данных использовалось 3 типа фрагментов топологии [7]. Предложенная сеть сравнивалась с нейронной сетью, реализующей стандартный корреляционный метод идентификации, и нейронной сетью на основе неоконгитрона [5] (табл. 1).

Таблица 1. Точность распознавания

Тип сети	Число объектов	Идентифицировано (%)	Не идентифицировано (%)
Корреляция	116	95 (81,9%)	21 (18,1%)
Сеть [5]		103 (88,8%)	13 (11,2%)
Нечеткая сеть		114 (98,3%)	2 (1,7%)

Как видно, нечеткая сеть показала лучшие результаты идентификации по сравнению

с другими представленными типами сетей. Таким образом, предложенная модель нечеткой нейронной сети может быть использована для контроля топологических структур интегральных микросхем, что позволит сделать систему контроля инвариантной к возможным геометрическим искажениям типа смещение и яркостным искажениям изображения топологии.

Выводы

В данной статье предложен способ вычисления функций принадлежности для идентификации топологических объектов на изображениях топологических слоев интегральных микросхем, что позволяет вычислить нечеткие параметры и сделать анализ топологии инвариантным к яркостным искажениям и геометрическим искажениям типа смещения.

Использование предложенной модели нечеткой нейронной сети дает возможность повысить эффективность комплексов бездефектного изготовления фотошаблонов для интегральных микросхем субмикронной технологии.

Литература

1. Точицкий, Я. И. Оптические технологии микро- и нанозлектроники / Я. И. Точицкий. – Минск: РИВШ, 2010. – 298 с.
2. Lughofer, E. Evolving Fuzzy Systems – Methodologies, Advanced Concepts and Applications / E. Lughofer. – Berlin: Physica-Verlag, 2011. – 439 p.
3. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

4. Шульговский, В. В. Основы нейрофизиологии. Учебное пособие для студентов вузов / В. В. Шульговский. – М.: Аспект Пресс, 2000. – 277 с.
5. Дудкин, А. А. Неокогнитрон для распознавания объектов топологии интегральных микросхем // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 339–347.
6. Оптико-механические комплексы для бездефектного изготовления фотошаблонов 0,35 мкм и 90 нм / С. М. Аваков [и др.] // Фотоника (прил. к журн. «Электроника НТБ»). – 2007. – № 6. – С. 35–39.
7. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2008. – 1103 с.

Поступила 15.09.15

A. A. Doudkin

FUZZY NEURAL NETWORK FOR OBJECT IDENTIFICATION ON INTEGRATED CIRCUIT LAYOUTS

Fuzzy neural network model based on neocognitron is proposed to identify layout objects on images of topological layers of integrated circuits. Testing of the model on images of real chip layouts was showed a higher degree of identification of the proposed neural network in comparison to base neocognitron.

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

UDC 620.92 + 502.174.3

IMAD ELZEIN, YURY N. PETRENKO

MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR PHOTOVOLTAIC STATION MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEM

Belarusian National Technical University

The purpose of this paper is to present an alternative maximum power point tracking, MPPT, algorithm for a photovoltaic module, PVM, to produce the maximum power, P_{max} , using the optimal duty ratio, D , for different types of converters and load matching.

We present a state-based approach to the design of the maximum power point tracker for a stand-alone photovoltaic power generation system. The system under consideration consists of a solar array with nonlinear time-varying characteristics, a step-up converter with appropriate filter.

The proposed algorithm has the advantages of maximizing the efficiency of the power utilization, can be integrated to other MPPT algorithms without affecting the PVM performance, is excellent for Real-Time applications and is a robust analytical method, different from the traditional MPPT algorithms which are more based on trial and error, or comparisons between present and past states. The procedure to calculate the optimal duty ratio for a buck, boost and buck-boost converters, to transfer the maximum power from a PVM to a load, is presented in the paper. Additionally, the existence and uniqueness of optimal internal impedance, to transfer the maximum power from a photovoltaic module using load matching, is proved.

1. Introduction

Solar energy is one of the most important alternatives energies with applications in urban areas, motor drives and with no alternative for spacecraft and space station application. [1]–[8] etc. It is expected that solar energy is growing from \$91,6 billion in 2011 to \$130,5 billion by 2022.

A photovoltaic PhV module, (PhVM) as the number of PhV sells, is the key component to convert solar energy into electric energy [1], [4], [8]. In addition to the PhVM, a typical photovoltaic system PhVS configuration consists of storage capacitance, DC-DC converter, and batteries [1]. In most of the applications, it is always desired to obtain the maximum power from a PhVM, due the fact that the PhVM operates at the highest efficiency [3]–[4]. The maximum power point tracker, MPPT, is the typical algorithm to calculate the maximum power, P_{max} , provided by a PVM [3], [4], [6].

The task of a maximum power point tracker (MPPT) in a photovoltaic (PV) energy conversion station PhVS is to continuously tune the system so that it delivers maximum power from the solar array regardless of weather or load conditions. The solar array model has a nonlinear voltage-current

and voltage-power characteristic, as it is shown in Fig. 1 [1] and more than that the working conditions mainly as insulation, ambient temperature, and wind that affect the output of the solar array are unpredictable, the MPPT must designed to contend with a nonlinear and time-varying system. Many tracking algorithms and techniques have been developed by different authors in recent years – on-line and off-line ones [4], [7], [9].

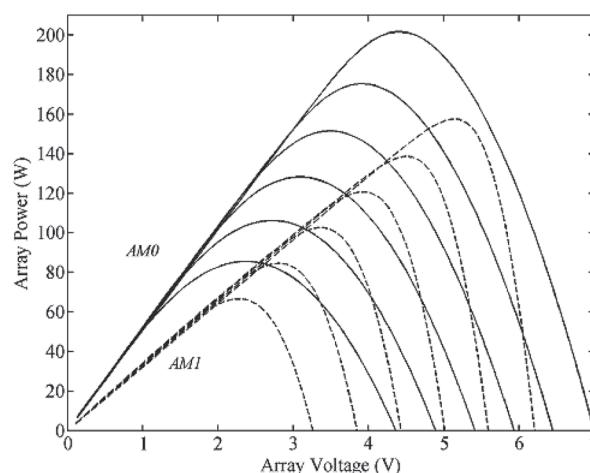


Fig. 1. Array power versus its voltage for the temperature of (from right to left) 273,300, 325,350,375, and 400 K. Solid lines for AM0 (air mass) condition, and dash lines for AM1 condition

Unfortunately, most of the existing MPPT methods to estimate the maximum power are based on trial and error algorithms where the voltage is increased until the maximum power is achieved, better known as the hill-climbing method [5]–[7]. Other MPPT algorithms compare the last sampled voltage and current versus the presently sampled voltage and current to see which state will produce the maximum power.

Additionally, the literature offers other types of MPPT algorithms such that. The Perturb and Observe (P&O) method and the Incremental Conductance (InCon) method, as well as variants of those techniques are the most widely used. The (P&O) method is known for its simple implementation, but during normal conditions it deviates from and oscillates around the maximum power point, since the system must be continuously perturbed in order to detect the maximum power point. Furthermore, the P&O method oscillates close to the maximum power point (MPP), when atmospheric conditions are constant or slowly changed. However, when weather rapidly changes, the P&O method fails to track the maximum power point effectively.

There are some other methods for solar array MPP tracking, based on parameters of solar panel, include short circuit current [2] and the open circuit voltage of the PV module techniques [6], [7]. The MPP tracking method using the short circuit current of the PV module exploits the fact that the operating current at the MPP of the solar array is linearly proportional to its short circuit current. Thus, under rapidly changing atmospheric conditions, this method has a relatively fast response time for tracking the MPP. However, the control circuit is still somewhat complicated and both the conduction loss and the cost of the MPPT converter are still relatively high [3]. Furthermore, the assumption that the operating current at the MPP of the PV module is linearly proportional to the short circuit current of the PV module is only an approximation. In reality, the application of this technique always results in PV module operation below the maximum power point.

In this paper, we present a state-based approach to the design of the maximum power point tracker for a stand-alone photovoltaic power generation system. The system under consideration consists of a solar array with nonlinear time-vary-

ing characteristics, a DC-DC converter with appropriate filters, and a load subject to disturbances. A state space model for the system is established using a time-averaged switch model. A nonlinear time-varying dynamic feedback controller is developed based on the structural information of the original system and the conditions for maximum power delivery.

2. Model Predictive Control Basement

As the complexity of processes and increasing requirements for their occurrence, environmental, energy, and improve the safety of care, and complicated management system, which, as a rule, are based on computer technology and digital control systems.

Despite the fact that in a real industrial automation still prevalent digital control system based on the PID control [5], all the more common systems and algorithms based on adaptive and optimal control, including with artificial intellect-based: Fuzzy logic, Neuron systems [8], [10], [11] which is very important for non-linear systems and high-order systems.

One of the modern approaches to formal analysis and synthesis of control systems based on mathematical optimization techniques, is the theory of control of dynamic objects using predictive models – *Model Predictive Control (MPC)* – *adaptive predictive control is a model that has received considerable development in the last decade. Its basic idea is to use a certain depth extrapolated values of the variables in the formation of the control law so as to minimize future system deviation from the desired state and thereby ensure optimal control.*

Basics MPC, i. e. is a model-based on line control approach with the following parts: a prediction horizon, a receding horizon procedure, and a regular update of the model and re-computation of the optimal control input [12], [13], [14], [15], [16].

This approach began to develop in the early 60s for the management of processes and equipment in the petrochemical and energy production, for which the use of traditional methods of synthesis have been extremely difficult due to the exceptional complexity of mathematical models. The earliest algorithm of Model Predictive Control (MPC), proposed by French engineer Richalet and his colleagues in 1978, was based on the

Model Predictive Heuristic Control (MPHC). Since then the explicit background of industrial application has made MPC develop rapidly to satisfy the increasing demand from modern industry. The unique feature of MPC which differs it from many other control algorithms, lies in the research history of MPC which originated from application and then expanded to theoretical field, while many other control algorithms, as an idea, often has applications after sufficient global theoretical research [17]. Currently, the scope of application of practical methods of MPC-expanded considerably, encompassing a variety of processes in the chemical and construction industries, light and food industries, aerospace research, modern systems of energy and so on. Number of publications and researches is increasing annually.

Authors in [17] proposed certain extensions and adaptations of the MPC for some tractable classes of discrete-event systems which leads to some extensions and adoptions of the MPC framework to classes of hybrid systems.

There are several popular definitions of hybrid systems, which are popular in such areas of industry as traffic control, robotics, aircraft, and plant process control including Maximum Power Point (MPP) control of Photovoltaic (PhV) Stations.

Some authors [18], [19] define a hybrid system as a coupling of a continuous-time or analog system and a digital system or discrete-time system.

In real application it usually leads to a combination of continuous-time (analog) plant and a digital controller, which acts in asynchronous manner. Actually hybrid systems arise from the combination between continuous-variable systems and discrete-event systems. Hybrid system can be in one of several modes of operation; each mode of behavior of the system can be described by a system of difference or differential equations and the system can be switched from one mode to another because the to the occurrence of events. The transition can be caused by an external control signal or by combination of state variables itself, i. e., when a state boundary reached desired level.

Hybrid systems can be analyzed by many modeling techniques. The most popular of them are [19] predicate calculus, real-time temporal logics, timed communicating sequential processes, hybrid automata, Petri nets, and object-oriented

modeling languages such as Modelica, SHIFT or Chi. It should be noted that special mathematical analysis techniques have been developed for some subclasses of hybrid systems.

The main advantage of MPC-approach, determining its successful use in the practice of construction and operation of control systems [12], [14], [15], [16], [17] is the relative simplicity of the basic scheme of formation of feedback, combined with high adaptive properties. The latter allows to manage multidimensional and multiply objects with complex structure, consisting of non-linearity, optimize processes in real-time within the constraints on control and manipulate variables to take into account the uncertainty in the job sites and disturbances. In addition, the possible delay taking into account transport, accounting for changes in quality criteria in the process and sensor measurement system failure.

Being MPC-approach is the following scheme of control of dynamic objects of feedback:

1. We consider some (relatively simple) mathematical model of the object, the initial conditions for which serves as its current status. For a given program management performed integration of the equations of the model that predicts the motion of the object at a finite time interval (the forecast horizon).

2. Running optimization software management, the purpose of which is the approach of controlled variables predictive model to the respective drive signals on the horizon of the forecast. Optimization is carried out taking into account the whole complex of constraints imposed on the control and controlled variables.

3. In step calculations, constituting a small part of a fixed forecast horizon, realized the found optimum control and the measurement is made (or restoration of the measured variable) the actual state of the object at the end of step.

4. Forecast horizon is shifted to step forward and repeat steps 1–3 of the action sequences.

This scheme can be combined with carrying out preliminary identification of the model equations used to perform prediction.

The idea of optimizing the projected software movement is the basis of MPC-practices arose within two separate but substantially similar approaches. The first of these, called Dynamics Matrix Control (DMC), developed efforts of specialists of the company Shell Oil in the mid-60s [17],

and the second – Model Algorithmic Control (MAC) – was developed by French engineers of chemical industry in the late '60s [19]. On the basis of the latter approach was first established commercial software package IDCOM (Identification and Command), which to some extent served as a prototype of modern software support management prediction.

Currently, MPC-approach is under intensive development, as evidenced by the extensive bibliography published in recent years, scientific papers on this subject. Development of ideas feed-forward control occurs in the direction of using non-linear models, ensuring Lyapunov stability of controlled movements, giving the robust features of a closed system of governance, the application of modern optimization techniques in real-time, and others.

The basic foundations of theoretical propositions on which to base all the tools package MPC Tools. The presentation begins with a non-linear problem in continuous time [17], which is for the introduction of the topics under discussion.

Further, significant attention is paid to the basic problem of the package – the control of linear discrete plant, the model of which is shown in the state space, using the predictive model is excluding and taking into account the constraints on the control and the state.

3. Generalized nonlinear predictive control. [12], [15]

Assume that the mathematical model of the control system can be presented [12], [13] by a system of ordinary nonlinear differential equations

$$\dot{X}(t) = f(t, x(t), u(t)), X(0) = x_0, \quad (1)$$

where $X \in E^n$ – the state vector; $u \in E^m$ – the vector control, $t \in [0, \infty)$.

Let us consider the set of admissible control and status, believing that for any fixed point in time must comply with the conditions. Suppose that for any piecewise continuous functions with values of the plurality of function satisfies the conditions of existence and uniqueness of solutions of the Cauchy problem for the system (1). In addition, we assume the system (1) has zero equilibrium position.

In the simplest embodiment allowable assignment sets U and X can lead, for example, the ratio of:

$$U = \{u \in E^m : u_{i \min} \leq u_i \leq u_{i \max}, i = \overline{1, m}\}, \quad (2)$$

$$X = \{x \in E^n : x_{j \min} \leq x_j \leq x_{j \max}, j = \overline{1, n}\}, \quad (3)$$

where, $u_{i \min}, u_{i \max}, x_{j \min}, x_{j \max}$ given real numbers.

We assume that the purpose of the control object (1) is to ensure that the equalities

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) - r_x(t) = 0; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} u(t) - r_u(t) = 0, \quad (4)$$

where a given vector function $r_x(t)$ and $r_u(t)$ define a desired motion of the object.

We introduce the concept of quality control, setting a functional

$$J_0 = J_0(x(t), u(t)) \quad (5)$$

to control the movement of the object (1).

Any optimal control problem is to find such a control action of a given class (if the task takes into account the feasible set U), which ensures the achievement of goals (4) taking into account the constraints $x(t) \in X$ and $\forall t \in [0, \infty)$ and minimizes the functional (5).

At present there are numerous options for common tasks, concretizing the above general formulation, as well as a variety of approaches to their analytical and numerical solutions. However, it should be noted that to date, all of these approaches are quite complex for practical implementation.

One of the major reasons hampering the use of classical optimization approaches in creating control systems for complex objects, is that the mathematical model (1), which exhaustively presents the dynamics of the real object, because of the many different circumstances we do not know and, in principle, can not be constructed.

To account for this fact in solving problems of optimal control are currently used various ways, one of which is the application of the theory of model predictive control. Essentially, it is the basis of a generalization of the well-known principle of feedback, according to which the formation of the control action use the measured information on the state of the object.

To explain the basic tenets of the theory of predictive control, along with a mathematical model (1) of the control object, we consider a system of differential equations of the form

$$\dot{\bar{X}}_i(\tau) = \bar{f}(\tau, \bar{x}(\tau), \bar{u}(\tau)) \Big|_{\tau=t} = x(t), \quad (6)$$

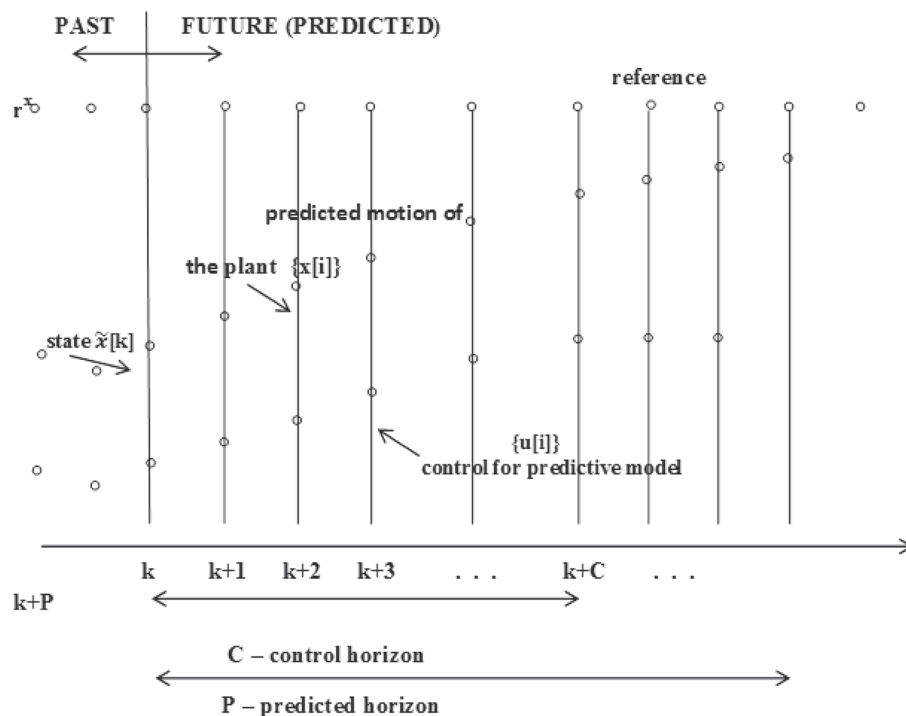


Fig. 2. Predictive plant movement

where $\bar{X} \in E^n$ – the state vector, $\bar{u} \in E^m$ – the vector control, $\tau \in [t, \infty)$.

We assume that the function $\bar{f}$ has the same properties as the function f and vectors $\bar{X}$ and $\bar{u}$ taking the value of the admissible sets, X and u respectively.

In addition, let us assume that the function $\bar{f}$ is set in such a way that for any admissible control $\bar{u}(\tau) \equiv u(\tau)$ vector functions $x(\tau)$ and $\bar{x}(\tau)$, satisfy the system (1) and (6), respectively, are close to each other at a rate for each $\tau \in [t, \infty)$.

The system of differential equations (6) is called predictive model in relation to the mathematical model (1) of the control object.

Prediction circuit implementation on the best is illustrated form presented by [12], Fig. 2.

Here on the x-axis Cartesian postponed times τ , and for the initial moment, it is assumed that $\tau = T$. Up to this point the control object with an unknown exact model of the form (1) moving under the influence of $u(\tau)$ a given control implemented feedback system, and at the time was in a state.

Let's set some control as a function of time interval and integrate the system (6) at a specified interval with the initial condition. The resulting partial solution will be interpreted as the predicted behavior (prediction of the behavior) of the control object from the prediction horizon.

Immediately, we note that, due to the natural differences between the dynamics of a real object and a predictive model of traffic on the segment will be considered as a whole different, but the coincidence is guaranteed only at the starting point.

Now we can formulate a mathematical problem of choosing the optimal control based on the forecast. We assume that the purpose of management is to provide a predetermined pattern of behavior (6), it is determined as in (4), and vector functions $r_x(t)$ and $r_u(t)$, where $X \in E^n$ – the state vector; $u \in E^m$ – the vector control, $t \in [0, \infty)$.

By introducing a MPC approach a constrained optimal control algorithm is formulated and applied in a receding horizon fashion [12].

Through the explicit MPC paradigm, a model is derived based on the physical characteristics of the plant and a control problem is formulated by directly taking into account system constraints and objectives.

In this case the resulting minimization problem can be resolved offline, supersizing the necessity for any on line optimization.

A practical view of photovoltaic energy conversion station is presented on Fig.3, where the source of energy, represented by the solar array PHVS with filter C1 delivers power to DC-DC

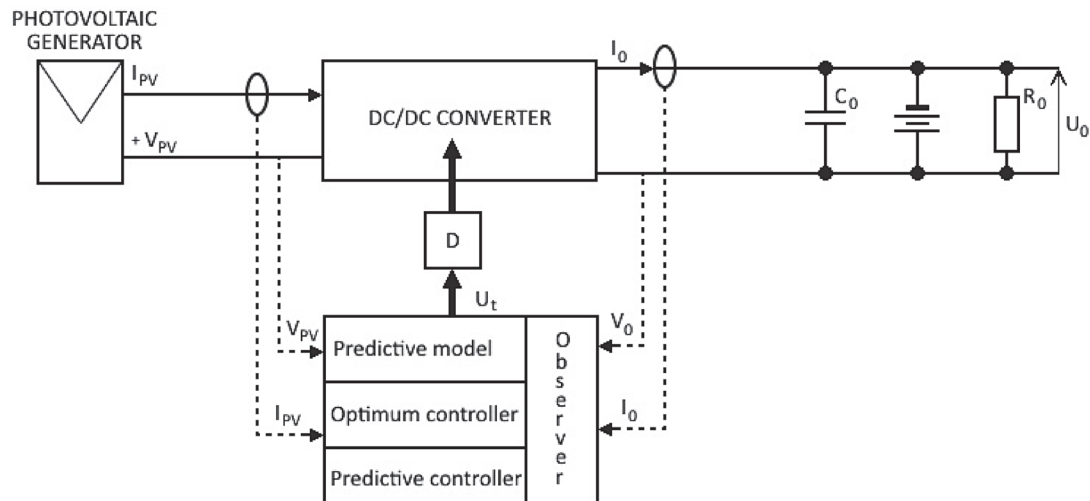


Fig. 3. Photovoltaic station model predictive control block diagram

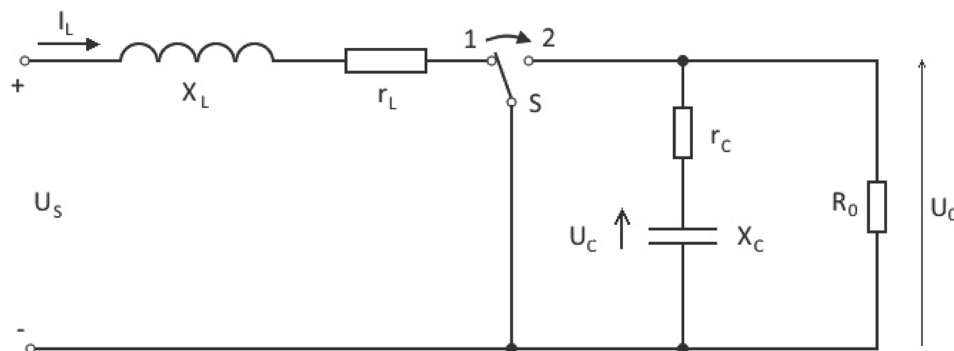


Fig. 4. Lumped parameter model of the boost converter

power converter, the type of which (the most popular are buck, boost or buck-boost converters) depends on specific architecture of the entire system. For instance, if PHVS is to supply power to a DC distribution network (i. g. a space station power network) than power interface is to provide conditioned DC power. In case of smart-home application with AC power distribution network then independently controlled DC-AC inverter with built in Pulse Width Modulation control may be used.. The interface links between PHVS and the consumer grid may include other elements such as energy-storage devices (i. e. batteries or super capacitors), which require specific controllers to run «charge-discharge» mode of operation. In this paper we do not discuss specific control strategies and design of interfacing devices.

The objective of DC-DC converter on PHV station MPPT system is regulate the output voltage V_0 (Fig. 3) under wide range of operations and PHV nonlinearity characteristics, caused by income atmosphere conditions, Fig. 1 and load

variation. The controller is to deliver output signal D (Fig. 3) to follow MPPT [7] and constraints of the circuit [2].

DC-DC boost converter schematics in a view of lamped parameter circuits used for control design presented in Fig. 4. For the sake of generality DC-DC buck converter schematics presented in Fig. 5.

A few assumptions (constraints) are needed to explain.

The coil non-linearity's neglected. and the switch is also considered as ideal. At each switching instant, the stray inductor and parasitic capacitor are also neglected. After this assumptions the lamped parameter switched model X_L represent the linear inductance value associated to the coil L , which losses are accounted for r_L ; x_c and r_c represent capacitance and equivalent series resistor of C .

Output load presented by resistor r_0 . The switching stages of the converter are formalized through the switch S , representing the dually operated semiconductor component. The converter

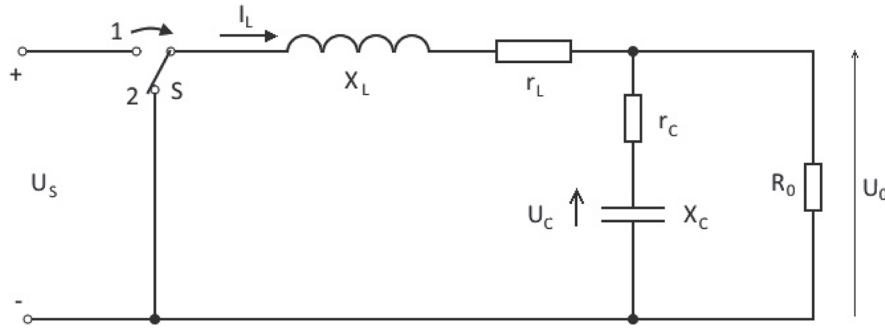


Fig. 5. Lumped parameter model of the buck converter

operation characterizes by switching period T_s (corresponding frequency f_s).

The DC component of the output voltage regulated through the duty cycle $D[k]$, (Fig. 3), which is defined by

$$D[k] = \frac{t_1[k]}{T_s} \quad (7)$$

where $t_1[k]$ represent the time interval during the k -th switching period T_s during which S is in the position 1 for the boost converter, connecting to the supply U_s .

Let us define

$$x(t) = [i_L(t) u_C(t)]^T \quad (8)$$

as the state vector, where $i_L(t)$ is the inductor current and $u_C(t)$ is the capacitor voltage, and with a given duty cycle $D[k]$ for the k -th period, the systems can be described by the following continuous-time state-space equations

$$\dot{x}(t) = G_1 x(t) + g_1 u_s \quad kT_s \leq t < (k + D[k])T_s$$

when $VT = 1$

$$\dot{x}(t) = G_2 x(t) + g_2 u_s \quad (k + D[k])T_s \leq t < (k + 1)T_s \quad (9)$$

when $VT = 0$,

where G_1, G_2, g_1, g_2 are given by

$$G_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

for the boost converter and

$$G_2 = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

for the buck converter.

In equations (10) and (11) it is noted

$$\begin{aligned} a_{11} &= r_L/L; \quad a_{22} = -1/C(r_o + r_c); \quad a_{21} = a_{12} = 0; \\ b_{11} &= -(1/L)((r_1 + (r_o r_c)/(r_o + r_c)); \quad b_{12} = 1/L(r_o/(r_o + r_c)); \end{aligned} \quad (12)$$

$$b_{21} = (1/C)(r_o/(r_o + r_c)); \quad b_{22} = (-1/C)(1/(r_o + r_c));$$

$$g_1 = g_2 = \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Output of the converter u_o is equal to

$$u_o(t) = B_1^T x(t), \quad kT_s \leq t < (k + D[k])T_s,$$

$$u_o(t) = B_2^T x(t), \quad (k + D[k])T_s \leq t < (k + 1)T_s \quad (14)$$

$$B_1 \begin{bmatrix} 0 & \frac{r_o r_c}{r_o + r_c} \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

$$B_2 \begin{bmatrix} \frac{r_o r_c}{r_o + r_c} & \frac{r_o}{r_o + r_c} \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

Once the reference trajectory is defined as $X_r[k + 1]$ we should follow classical tracking problem. In following we consider a prediction structure as the control strategy for the boost converter.

The control aims to minimizing a quadric function of the prediction error between the reference trajectory $X_r[k + 1]$ and a predicted state $X_p[k + 1]$.

The function which should be minimize is in the form

$$L = (X_p[k + 1] - X_r[k + 1])^2 Q_p + m_p (dd_p)^2 \quad (17)$$

and the minimization is performed with respect to the duty cycle variation

$$dd_p = d_p[k] - d_p[k - 1]. \quad (18)$$

In (17) L and m_p is a positive constant and Q_p is a positive definite matrix.

The predictive state X_p is obtained at $(k + 1)$ from $X_p[k]$ as

$$x_p[k + 1] = E_1(x_p[k], d_p[k]) + E_2(x_p[k], x[k]), \quad (19)$$

where $x[k]$ is the system real parameters measurement;

E_1 represents the future states without correction

$$E_1(.) = \exp(FT_s)x_p[k] + F^{-1} \exp(FT_s)(1 - (\exp(-FT_s d_p[k]))) \quad (20)$$

The minimization of L can be calculated analytically by $dL/d(d_p) = 0$ or numerically by using the Newton algorithm with only one iteration as suggested in [19]. So, the aim of this control is to calculate $x[k]$ and $x_p[k]$ for the next period of modulation.

Total predictive control scheme consists of the following steps:

Measurement and evaluation of the state vector of the real object. 2. The solution of the optimization problem for the predictive model (6) with the initial condition with respect to the quality functional. 3. Using the best features found in the software as a control segment. 4. Changing the date and time at the time of repeating the steps referred to p. 1.

This sequence of operations is implemented in a control system with feedback; a block diagram is shown in Fig. 3.

It should be noted another important factor. Even if the information about the object enters the regulator continuously, in general, there must be some finite time to solve the optimization

problem, which are usually carried out by approximate numerical methods. Consequently, the control corresponding to the resulting state will be applied to the object with the inevitable delay.

Summing up the consideration of the generalized non-linear problem, as the findings point to the following features shown predictive control scheme.

Conclusion

As a predictive model can be used non-linear system of ordinary differential equations. The approach allows to consider the limitations that are imposed on the control variables, and the components of the state vector. The approach involves the minimization of the functional of the quality control process, in real time. To manage the predictive imperative that the current state of the object is directly measured or estimated. The predicted behavior of the dynamic object will generally differ from the actual movement. To work in real time is necessary to the solution of the optimization problem was carried out quickly enough within the allowable delay. The immediate implementation of the schemes considered MPC-strategy does not guarantee the Lyapunov stability of the object which requires special measures to ensure it.

References

1. Solodovnik E. V., Shengyi Liu, R. A. Dougal. Power Controller Design for Maximum Power Tracking in Solar Installations. IEEE Transactions on PE, vol. 19, no. 5, Sept. 2004, pp.1295–1304
2. Nevzat Onat. Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems. International Journal of Photoenergy, Vol. 2010, Article ID 245316, 11 pp., doi:10.1155/2010/245316
3. T. Esram, P. L. Chapman, Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, 2007, pp. 439–449,
4. P. Santiago, C.. Javier, F. Sorribes-Palmer «On the Analytical Approach to Systems Behavior, Wind Speed Sensors Performance, and High-Speed Train Pressure Wave Effects in Tunnels», Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2015, Article ID 897357, 17 pages, [http:// dx. doi. org/10.1155/2015/897357](http://dx.doi.org/10.1155/2015/897357)
5. Трещ, А. М. Система управления фотоэлектрической установкой при автономном использовании / Ю. Н. Петренко, А. М. Трещ // Наука и техника. Межд. научно-технической журнал. Минск 2013 № 1. С. 53–56.
6. D. P. Hohm and M. E. Ropp, «Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms», Prog. Photovolt: Res. Appl. 2003; 11:47–62 DOI:10.1002/pp.459.
7. Elzein, I. Maximum Power Point Tracking System for Photovoltaic Station: a Review. System Analysis and Applied Information Science, No. 3, 2015, pp.15–20.
8. Elzein, I. Fuzzy Logic Controller Design for Photovoltaic System / I. Elzein, Y. N. Petrenko// Information Technologies and Systems 2014 (ITS 2014), Proceedings of the Int. Conf.(BSUIR, Minsk, Belarus, 29 th October, 2014), pp.36–37.
9. H. I. Abdelkader, A. Y. Hatata, M. S. Hasan Developing Intelligent MPPT for PV Systems Based on ANN and P&O Algorithms. International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 6, Issue 2, February-2015, p. 8.
10. I. A. Elzein, Y. N. Petrenko. A study of maximum power point tracking algorithm for photovoltaic system using a fuzzy logic controller. WIT Transaction on Engineering Sciences, Vol.96, WIT Press, 2014, pp.409–419.
11. Elzein, I. Fuzzy logic controller implementation for photovoltaic station / I. Elzein, Y. N. Petrenko// System Analysis and Applied Information Science, No. 4, 2014, pp.44–48.
12. Сотникова М. В. Разработка инструментального пакета для решения задач управления с нелинейными прогнозирующими моделями в среде MATLAB // Тр. V Межд. научной конф. «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». – 2011. – С. 299–319.

13. Веремей Е. И., Сотникова М. В. Стабилизация плазмы на базе прогноза с устойчивым линейным приближением // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. 2011. – Вып. 1. – С. 116–133.
14. Сотникова М. В. Вопросы устойчивости движений в системах управления с прогнозирующими моделями // Вестник воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 72–79.
15. Сотникова М. В. Синтез робастных алгоритмов управления с прогнозирующими моделями // Системы управления и информационные технологии. – Т. 50, № 4. – 2012. – С. 99–102.
16. Margarita V. Sotnikova, Evgeny I. Veremey. Dynamic Positioning Based on Nonlinear MPC // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). Proceedings of the 9th IFAC Conf. on Control Appl. in Marine Systems (CAMS 2013). Osaka, Japan, September 17–20, 2013. – Volume 9, Issue PART 1, 2013, Pages 37–42.
17. Meng Zhao, Xiaoming Tang. Robust Tube-based MPC with Piecewise Affine Control Laws. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/358148>.
18. T. Geyer, G. Parafotiu, R. Frasca, and M. Morari, «Constrained Optimal Control of the BC-BC Converter,» IEEE Transactions on Power Electronics, vol.23, Sept. 2008, pp.2454–2464.
19. Comparison of Hybrid Control Techniques for Buck and Boost DC-DC Converters. Sébastien Mariéthoz, Member, IEEE, Stefan Almer, Mihai Băja, Andrea Giovanni Beccuti, Diego Patino, Andreas Wernrud, Jean Buisson, Hervé Cormerais, Tobias Geyer, Member, IEEE, Hisaya Fujioka, Member, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 18, NO. 5, September 2010. P. 1126.

Поступила 25.09.15.

После доработки 02.12.15

Imad ELzein, Ю. Н. Петренко

ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Представлен альтернативный подход по обеспечению режима максимальной выходной мощности (МВМ) фотоэлектрической станции (ФЭС).

Рассматриваемая система состоит из солнечных батарей с нелинейными нестационарными характеристиками, работающих в автономном режиме, импульсного преобразователя постоянного тока (ИППТ) повышающего типа и соответствующего фильтра на выходе.

Для управления ИППТ предлагается использовать прогнозирующую модель, теория которой активно разрабатывается в последнее время отечественными и зарубежными учеными.

Приводятся уравнения в пространстве состояний и функциональная схема ФЭС. Особенностью системы является возможность работы в реальном времени и наличие наблюдателя нагрузки.

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 519.6

КОНДРАТЁНОК Е. В., КОНДРАТЁНОК В. А.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО УЧЕБНОГО РЕСУРСА

*Белорусский Национальный Технический Университет
Военная Академия Республики Беларусь*

Приведены результаты анализа необходимости и интенсивности управляющего воздействия на обучающихся при различных уровнях их подготовленности в соответствии с принятой теоретической моделью при реализации адаптивного учебного ресурса. Предлагается использовать коэффициент управляющего воздействия на каждом этапе обучения в зависимости от требуемого результирующего показателя и имеющихся возможностей педагога, состава и наполнения учебных модулей адаптивного учебного ресурса и распределения бюджета учебной нагрузки преподавателя.

Введение и постановка задачи

Разработчики сложных систем на этапе проектирования часто сталкиваются с широким перечнем проблем, автоматизировать решение которых достаточно сложно или нецелесообразно. Выходом из ситуации в настоящее время является использование систем поддержки принятия решений, которые служат для того, чтобы улучшить качество принимаемых решений, позволяя пренебречь детальным анализом всего объема требуемой информации из-за ограничений во времени или его сложности. От того, насколько система поддержки принятия решений эффективна, зависят показатели качества функционирования всей сложной системы, в состав которой указанная система поддержки принятия решений входит в виде подсистемы.

Рассмотрим результаты анализа необходимости и интенсивности управляющего воздействия при различных уровнях подготовленности обучаемых в соответствии с теоретическими моделями [1, 2] при реализации адаптивного учебного ресурса.

Цепь Маркова, моделирующая вероятностный процесс прохождения адаптивного учебного ресурса и порядок ее применения для технической дисциплины рассмотрен автором в [3]. Модель адаптивного учебного ресурса

в [3] представляет собой ориентированный граф [4]. В [3] подчеркивалось, что сложность марковской модели функционирования системы определяется необходимостью учета множества факторов и сложной организацией самой системы [5]. Также обращалось внимание на то, что вероятностный подход, традиционно использованный в марковских моделях, не всегда применим из-за недостатка статистической информации о состоянии сложной системы [6].

Применение же системы поддержки принятия решений при разработке и использовании адаптивного учебного ресурса позволит хотя бы частично нивелировать указанные сложности в связи с тем, что то или иное решение будет принимать человек (пользователь, разработчик сложной системы), в распоряжении которого будет уже подготовленная информация.

Результаты математического моделирования

Для обучаемого адаптивный учебный ресурс представляется набором модулей (тем, разделов), а наиболее важным из них является последний (сдача экзамена, зачет). Вся процедура изучения адаптивного учебного ресурса может быть рассмотрена как последовательная реализация набора этапов (изучения тем) при

отсутствии контуров обратной связи (см. рис. 3 [3]).

Случайные события реализации этапов осуществляются последовательно, математическая модель изучения простой марковской цепью событий из N этапов, для которой n -мерная плотность вероятности показателя качества вдоль всей цепи представляется в виде:

$$P(W_0, W_1, W_2, \dots, W_n, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) = P(W_0)P(W_1/W_0, \delta_1) \dots P(W_n/W_{n-1}, \delta_n),$$

где $P(W_0)$ – плотность распределения вероятности показателя качества на входе цепи; W_i – показатель качества выполнения i -го этапа (изучения i -ой темы); $i = 1, \dots, n$; δ_i – коэффициент управляющего воздействия на i -ом этапе; $\delta_i \in 0,1$; $P(W_{i-1}, \delta_i)$ – условная плотность вероятности показателя качества на i -ом этапе.

В качестве показателя W_i здесь можно рассматривать оценку знаний обучаемого после изучения i -го учебного модуля ($W_i = 1, 2, \dots, 10$). В качестве же значения δ_i рассматривается интенсивность влияния преподавателя на обучаемого (при $\delta = 0$ педагог не оказывает воздействия, при $\delta = 1$ преподаватель оказывает максимально возможное воздействие на обучаемых (к примеру, организует и проводит дополнительные консультации, в том числе и индивидуальные)).

Однако уделить одинаковое внимание всем учебным группам, в которых педагог проводит занятия, иногда затруднительно или невозможно ввиду большой загруженности последнего. В этом случае необходимо распределить усилия преподавателя между группами в соответствии с подготовленностью обучаемых и сложностью преподаваемого учебного материала.

Поскольку конечным и наиболее важным для контроля качества усвоения материала адаптивного учебного ресурса является этап сдачи экзамена (зачет), то представляет интерес решение задачи нахождения вероятности получения «положительной» оценки $P_{\text{экз}}$ в ходе данного этапа.

Для ее решения рассмотрим вариант последовательного изучения учебных модулей адаптивного учебного ресурса, по окончании каждого из которых обучаемый сдает тест.

Принимая $\delta = \text{const}$ для всей траектории прохождения адаптивного учебного ресурса,

можно рассчитать $P_{\text{экз}}$ для набора δ ($\delta = \delta' = 1$, $\delta = \delta'' = 0,5$, $\delta = \delta''' = 0$, ...).

В случае, если бы модулей адаптивного учебного ресурса было, к примеру, два, значение $P_{\text{экз}}$ можно рассчитать в соответствии со следующим выражением:

$$P_{\text{экз}} = \int_4^{10} \int_4^{10} \int_4^{10} P(W_0)P(W_1/W_0, \delta) \times \\ \times P(W_2/W_1, \delta) dW_0 dW_1 dW_2.$$

В рассматриваемом случае количество модулей равно 10 [3]. Это несколько усложняет выражение, к тому же величина W_i дискретна. При этом

$$P_{\text{экз}} = \sum_{i=4}^{10} P(W_{10}, \delta) P(W_{10}/W_9, \delta),$$

где

$$P(W_{10}, \delta) = \sum_{i=4}^{10} P(W_9, \delta) P(W_9/W_8, \delta);$$

...

$$P(W_2, \delta) = \sum_{i=4}^{10} P(W_1, \delta) P(W_2/W_1, \delta);$$

$$P(W_1) = \sum_{i=4}^{10} P(W_0) P(W_1/W_0, \delta).$$

Функция плотности вероятности $P(W_i/W_{i-1}, \delta_i)$ определяется экспериментально. При этом она должна обладать следующими свойствами:

1. Вероятность качественного изучения i -го модуля тем выше, чем эффективнее используется система поддержки принятия решения.

2. Чем выше качество изучения i -го модуля, тем выше вероятность более высокого качества изучения $(i + 1)$ -го модуля адаптивного учебного ресурса.

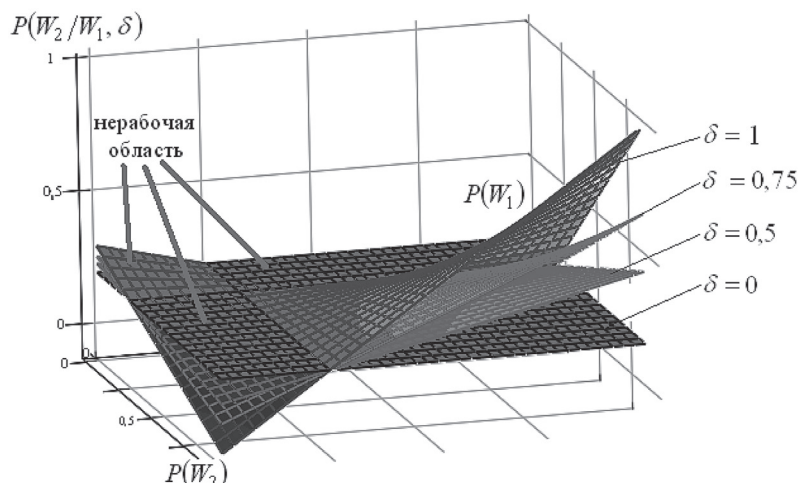
3. Функция плотности вероятности должна удовлетворять условию нормировки

$$\int_0^{W_i} P(W_i/W_{i-1}, \delta_i) dW_i = 1,$$

где W_i – максимальное значение показателя качества.

Перечисленные свойства позволяют по аналогии с [1, 2] использовать следующую функции плотности вероятности (ее линейной аппроксимацией):

$$P(W_i/W_{i-1}, \delta_i) = \frac{1}{W_M} - \frac{\delta_i}{2 - \delta_i} \left(\frac{2W_{i-1} - W_M}{W_M} \right) \left(1 - \frac{2W_i}{W_M} \right).$$



Зависимость плотности вероятности показателя качества на i -ом этапе от качества выполнения $(i - 1)$ -го этапа

Здесь плотность вероятности является функцией трех переменных. Ее реализация для различных δ показана на рисунке.

Анализ приведенных зависимостей свидетельствует о следующем:

1. Подтверждается предварительное предположение о необходимости хотя бы минимального уровня управляющего воздействия на обучающихся при освоении ими учебных модулей адаптивного учебного ресурса, пример которого описан в [3]. Управляющее воздействие, в свою очередь, может выражаться в проведении «штатных» консультаций перед проведением лабораторных, контрольных, расчетно-графических работ, защите курсовых проектов и отчетов по лабораторному практикуму. Отсутствие обратной связи «обучаемый-преподаватель» не обеспечивает должной мотивации обучаемого, он не видит перспектив применения получаемых знаний и его интерес к предлагаемому учебному материалу резко снижается.

2. Получение положительного результата при изучении текущего учебного модуля тем выше, чем выше уровень освоения предшествующего. Только при освоении предшествующего модуля с оценкой «четыре» и выше дает возможность разобраться с материалом текущего модуля. В противном случае обучаемый не сможет сдать тест текущего модуля выше оценки «три» вне зависимости от коэффициента управляющего воздействия (нерабочая область зависимостей, показанных на рисунке).

3. Коэффициент управляющего воздействия оказывает тем большее влияние на ко-

нечный результат (тест текущего учебного модуля), чем выше был уровень прохождения предыдущего теста.

Выводы

1. Функция плотности вероятности может быть найдена экспериментально с учетом особенностей изучения обучаемыми модуля адаптивного учебного ресурса, сложности представленного материала, его «забываемости» и других факторов.

Определив плотности вероятности $P(W_i/W_{i-1}, \delta)$, для каждого из этапов (для каждого учебного модуля), мы впоследствии сможем сформировать несколько «образов» траекторий адаптивного учебного ресурса (для $\delta = \delta'$, $\delta = \delta''$, $\delta = \delta'''$, ...) с точки зрения сложности их изучения. Получив перед началом обучения путем, к примеру, входного контроля, плотность распределения $P(W_0)$ и, используя ее как входную статистику, можно, задав необходимое (желаемое) значение $P_{\text{экз}}$, определить требуемое значение интенсивности воздействия на обучаемых со стороны преподавателя, распределив, таким образом, бюджет времени последнего.

2. Представленные и получаемые впоследствии зависимости позволят оптимизировать коэффициент управляющего воздействия на каждом этапе обучения в зависимости от требуемого результирующего показателя и имеющихся возможностей педагога, состав и наполнение учебных модулей адаптивного учебного ресурса и распределение бюджета учебной нагрузки преподавателя.

Литература

1. Топольский, Н. Г. Вероятностно-статистический подход к решению задач создания сложных систем безопасности объектов / Н. Г. Топольский, А. Н. Членов // Материалы XV НПК «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». – М.: ВНИИПО МВД России, 1999. – С. 141–142.
2. Членов, А. Н. Эффективность системы поддержки принятия решений при проектировании тревожной сигнализации для сложных объектов / А. Н. Членов, А. Ф. Шакиров // Технологии техносферной безопасности. – № 3 (37). – 2011. – С. 1–6.
3. Кондратенко, Е. В. Результаты адаптивного учебного ресурса // Системный анализ и прикладная информатика. – № 4. – 2014. – С. 72–76.
4. Галушкин, А. И. Основы кибернетики. Математические основы кибернетики / А. Н. Галушкин, Ю. И. Дегтярев и др. / под ред. К. А. Пупкова. Учеб. пособие для ВТУЗов. – М.: Высшая школа, 1974. – 413 с.
5. Райфа, Г. Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности) / перев. с англ. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1977. – 408 с.
6. Сильвестров, Д. С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (основы расчета функциональных и надежностных характеристик стохастических систем). – М.: Сов. радио, 1980. – 272 с.

Поступила 18.11.15

После доработки 08.12.15

KONDRATYONOK E. V., KONDRATYONOK V. A.

DECISION SUPPORT SYSTEM IN THE ADAPTIVE TEACHING RESOURCE IMPLEMENTATION. ANALYSIS OF USE

The results of the analysis of the need and intensity of control to the students at different levels of readiness in accordance with the theoretical model in the implementation of adaptive educational resource. It is proposed to use a factor driving the first impact at each stage of training, depending on the desired result indicator and opportunities of the teacher; the composition and content of training modules adaptive educational resource and budget allocation teacher training load.

УДК 620.179.15

С. А. ЗОЛОТАРЕВ¹, М. А. МИРЗАВАНД²

БЫСТРАЯ ИТЕРАЦИОННАЯ КИЛОВОЛЬТНАЯ ТОМОГРАФИЯ В КОНИЧЕСКОМ ПУЧКЕ ЛУЧЕЙ

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»²Белорусский национальный технический университет

Создание быстрых параллельных итерационных томографических алгоритмов, основанных на использовании графических ускорителей, которые одновременно обеспечивают минимизацию невязки и тотальной вариации реконструированного изображения является важной и актуальной задачей, имеющей большое научное и прикладное значение. Такие алгоритмы могут использоваться, например, при осуществлении радиационной терапии пациентов, потому что предварительно всегда производится компьютерная томография пациентов с целью более точного определения областей, которые потом будут подвергнуты лучевому воздействию.

Введение

Как в промышленности, так и в медицине широкое распространение получила компьютерная томография с использованием конического пучка рентгеновских лучей (Cone Beam Computed Tomography (CBCT)). Самым распространенными на сегодняшний день методами реконструкции по коническим проекциям являются методы, основанные на использовании алгоритма Фельдкампа (FDK). Вследствие наметившейся в последние годы тенденции к значительному уменьшению рентгеновской дозы для пациентов, подвергаемых томографическому обследованию, возникает необходимость сокращения, как числа снимаемых проекций, так и уменьшения анодного тока рентгеновской трубки, при котором производится съемка. Например, перед осуществлением радиационной терапии производится CBCT пациентов, для того, чтобы более точно определить области, которые потом будут подвергнуты мощному лучевому воздействию. При компьютерной томографии пациента, как правило, используется порядка 200–300 рентгеновских проекций с лучевой нагрузкой 0.4 mAs на одну проекцию (0.4 mAs/projection). При уменьшении рентгеновской дозы до 0.1 mAs/projection и числа снимаемых проекций до 30–90 алгоритм Фельдкампа реконструирует сильно деградированные изображения пациентов, которые непригодны для дальнейшего медицинского использования.

Опыт показывает, что исправить эту ситуацию можно путем применения итерационных томографических алгоритмов с использованием в качестве регуляризирующего функционала тотальной вариации. Использование минимизации тотальной вариации реконструируемого изображения позволяет устранить артефакты, вызванные зашумлением рентгеновских проекций, возникающего вследствие малого тока рентгеновской трубки. Кроме того, использование тотальной вариации обеспечивает практически полное устранение полосовых артефактов, вызванных уменьшением числа проекций. Задача состоит в том, чтобы разработать итерационные алгоритмы томографической реконструкции с использованием минимизации тотальной вариации, позволяющие по ограниченному числу проекций (30–90) и рентгеновской дозе 0.1–0.2 mAs/projection обеспечить практически такое же качество реконструируемого изображения, как и метод FDK для 200–300 проекций с лучевой нагрузкой на одну проекцию 0.4 mAs.

Однако, итерационные методы томографии затрачивают на реконструкцию трехмерного изображения пациента неприемлемо большое время. Использование графических ускорителей позволяет разработать сверхбыстрые параллельные алгоритмы для трехмерной томографической реконструкции, которые решают эту задачу за временной промежуток от нескольких секунд до одной-двух минут.

Основная часть

1. Эвристический метод итерационной реконструкции

Рентгеновские проекции объекта «голова-шея» для нескольких пациентов были получены на многофункциональном ускорителе для лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) и расширенным визуальным контролем (ЛТВК) Электа Синержи с использованием киловольтного источника. Помимо мега-вольтного рентгеновского источника в этой рентгеновской системе имеется киловольтный источник рентгеновского излучения, предназначенный для осуществления конической томографической реконструкции изображений пациентов с целью их правильного позиционирования перед осуществлением лучевой терапии. В данной работе исследована возможность улучшения качества стандартной томографической реконструкции (FDK) путем использования вместо нее параллельной итерационной реконструкции с использованием библиотеки OpenGL и регуляризацией. Кроме того, было оценено качество реконструкции по малому числу проекций – 90 проекционных видов. Итерационные способы томографии основаны на решении системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$Ax = p, \quad (1.1)$$

где $A = (A_{ij})$ – проекционная матрица, $x = (x_1, x_2, \dots, x_J)$ – вектор изображения, $p = (p_1, \dots, p_I)$ – **вектор проекций**. Таким образом, решение основной задачи восстановления изображения по заданному набору проекций p_i сводится к решению СЛАУ вида (1), при этом вектор p задан заведомо с некоторой погрешностью. Давайте определим

$$A_{i+} = \sum_j A_{ij} \text{ для } i = 1, \dots, I, \quad (1.2)$$

$$A_{+j} = \sum_i A_{ij} \text{ для } j = 1, \dots, J. \quad (1.3)$$

Тогда формула для реконструкции методом SART записывается следующим образом

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \lambda^{(k)} / A_{+j} \sum_i A_{ij} / A_{i+} (p_i - (A^i, x^{(k)})), \quad (1.4)$$

где параметры релаксации $\lambda^{(k)}$ представляют собой последовательность вещественных чисел ($0 < \lambda^{(k)} < 2$). Мы испытаем в этой работе новый эвристический итерационный алгоритм по теоретическим соображениям близкий к ал-

горитму, опубликованному в работе [1], но отличающийся прежде всего тем, что мы используем коррекцию текущего приближения с помощью минимизации невязки для лучевых интегралов, а не для интенсивностей. Предлагаемый алгоритм реконструкции можно записать так

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} * [1 + \lambda^{(k)} \sum_i A_{ij} / A_{i+} ((p_i - (A^i, x^{(k)})) / (A^i, x^{(k)}))], \quad (1.5)$$

где $0 < \lambda^{(k)} < 1$. Приведем ниже фрагмент кода на языке СИ, для расчета отношения разности между экспериментальной и текущей модельной проекций к модельной проекции:

```
for(i= 0; i<pos; i++)
{ if(proj_mod[i]>=1.0){proj_mult[i]=1.0
+lambda*(proj_exp[i]-proj_mod[i])/proj_mod[i];
if(proj_mult[i]>2.0)proj_mult[i]= 2.0; if(proj_mult[i]<0.0)proj_mult[i]= fabs(proj_mult[i]);
}else proj_mult[i]= 1.0;}
```

Алгоритм коррекции, представленный формулой (1.5) является практически таким же удобным для распараллеливания с помощью графической библиотеки OpenGL, как и известный алгоритм SART [2], описываемый формулой (1.4). Прямое проецирование трехмерной текстуры, содержащей изображение текущего приближения осуществляется так же, как и для алгоритма SART, которое подробно описано в монографии [3]. Отличие заключается в том, что для его реализации приходится ввести две дополнительных двумерных текстуры. В одной из них содержится корректирующее изображение, полученное согласно приведенному выше фрагменту программного кода, а во второй текстуре содержится изображение корректируемого слоя трехмерной текстуры. Корректирующее изображение сначала перспективно проецируется [4] на место, где находится корректируемый слой, а потом перемножается с изображением корректируемого слоя и записывается на его место. Для перемножения двумерных текстур следует использовать наложение текстуры на объект с режимом GL_MODULATE.

2. Минимизация тотальной вариации

Модель анизотропной тотальной вариации для удаления шума в исходном изображении f размерностью $N \times N$ может быть представлена как задача минимизации выражения [5]:

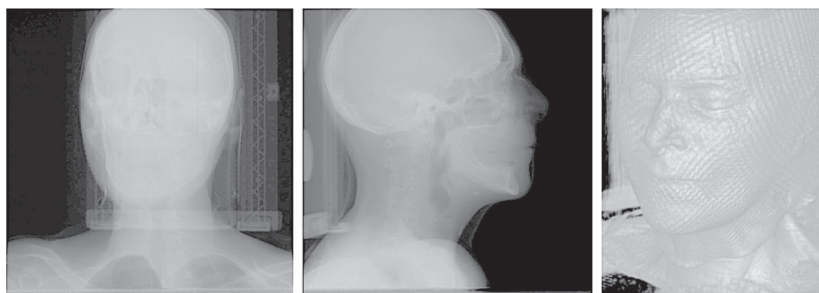


Рис. 1. Рентгеновские проекции пациента для углов обзора 0° (слева) и 90° (посередине) и объемное изображение пациента (справа)

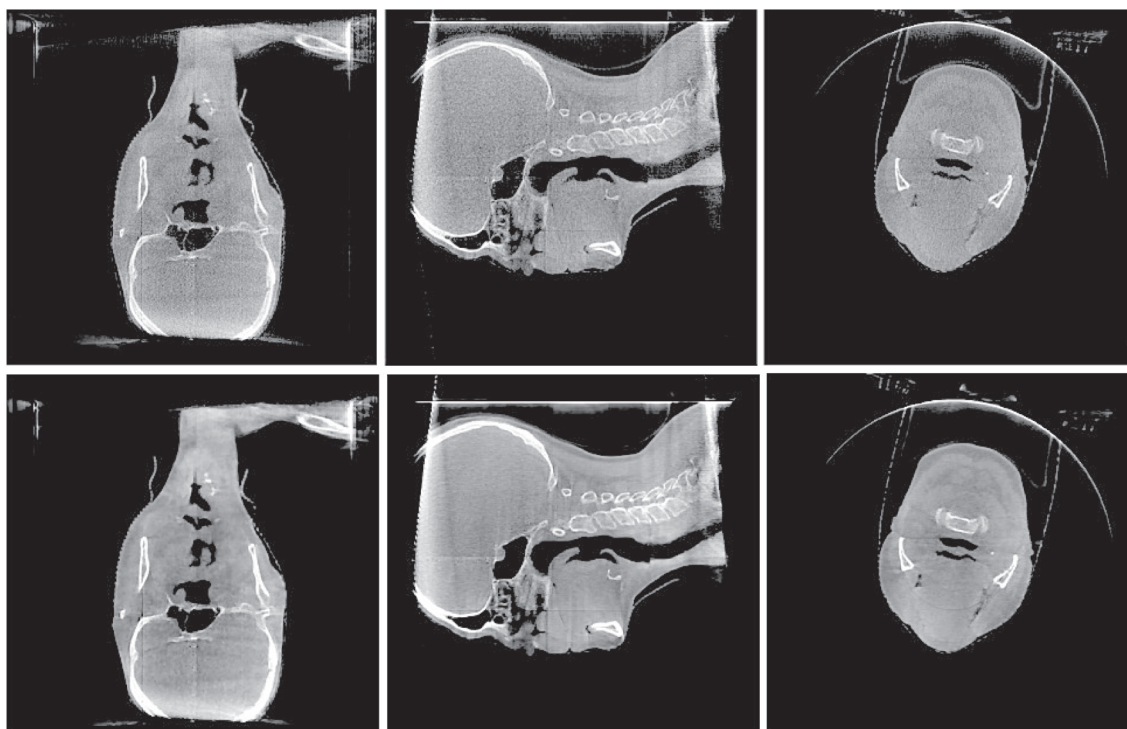


Рис. 2. Ортогональные сечения изображения хоу (слева), уоз (посередине) и хоз (справа). Верхний ряд – реконструкция по 373 проекциям без регуляризации. Нижний ряд – реконструкция с TV регуляризацией

$$\min_u \left[\|\nabla_x u\|_1 + \|\nabla_y u\|_1 + \frac{\mu}{2} \|u - f\|_2^2 \right] \quad (2.1)$$

где μ соответственно выбранный положительный параметр, здесь

$$\|u\|_p = \left(\sum_{1 \leq i, j \leq N} |u(i, j)|^p \right)^{\frac{1}{p}} \text{ для } 1 \leq p < \infty. \quad (2.2)$$

Градиенты по x :

$$\begin{aligned} \nabla_x u(i, j) &= u(i, j) - u(i-1, j), \\ i &= 2, \dots, N, \quad j = 1, \dots, N. \\ \nabla_x u(1, j) &= 0, \quad j = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

Градиенты по y :

$$\nabla_y u(i, j) = u(i, j) - u(i, j-1),$$

$$i = 1, \dots, N, \quad j = 2, \dots, N.$$

$$\nabla_y u(i, 1) = 0, \quad i = 1, \dots, N$$

Итерационная схема:

$$b_x^k = \text{cut}(\nabla_x u^k + b_x^{k-1}, 1/\lambda),$$

$$b_y^k = \text{cut}(\nabla_y u^k + b_y^{k-1}, 1/\lambda), \quad (2.3)$$

$$u^{k+1} = f - \frac{\lambda}{\mu} (\nabla_x^T b_x^k + \nabla_y^T b_y^k)$$

где для параметра $\lambda > 0$

$$\text{cut}(c, \frac{1}{\lambda}) = \begin{cases} 1/\lambda & \text{для } c > 1/\lambda \\ c & \text{для } -1/\lambda \leq c \leq 1/\lambda \\ -1/\lambda & \text{для } c < -1/\lambda \end{cases}$$

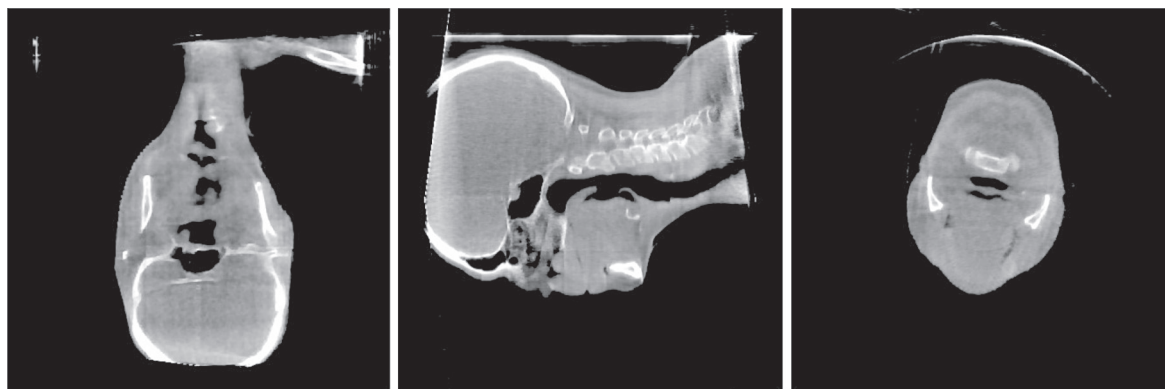


Рис. 3. Ортогональные сечения изображения хоу (слева), уоу (посередине) и хох (справа). Реконструкция по 90 проекциям с TV регуляризацией

Сопряженные градиенты для ∇_x, ∇_y :

$$\nabla_x^T w(i, j) = \begin{cases} -w(2, j) & \text{если } i = 1, \\ w(i, j) - w(i + 1, j) & \text{если } i = 2, \dots, N - 1, \\ w(N, j) & \text{если } i = N, \end{cases}$$

$$\nabla_y^T w(i, j) = \begin{cases} -w(i, 2) & \text{если } j = 1, \\ w(i, j) - w(i, j + 1) & \text{если } j = 2, \dots, N - 1, \\ w(i, N) & \text{если } j = N, \end{cases}$$

Итерационная схема обеспечивает сходимость последовательности u^k к искомому изображению u^* , представляющему собой «обесшумленное» изображение f [5].

$$\lim_{k \rightarrow \infty} u^k = u^* \text{ если } 0 < \lambda/\mu < 1/8.$$

Минимизация тотальной вариации для трехмерного изображения осуществлялась на обычном процессоре между корректирующими итерациями, которые были реализованы на графической видеокарте NVIDIA GeForce GTX470 с 1280 Mb текстурной памяти.

3. Результаты

Все проекции были получены на линейном ускорителе последнего поколения Электра Синержи. Параметры для рентгеновской съемки

объекта «голова и шея»: напряжение на трубке – 100 кВ, анодный ток – 10 мА, время экспозиции – 10 мс. На рис. 1 показаны проекции одного из пациентов для углов обзора 0° и 90° . Для реконструкций использовались 373 проекции и 90 проекций, расположенных в угловом диапазоне 201° . Результаты томографических реконструкций показаны ниже на рис. 2–3.

Заключение

В статье предложен разработанный авторами новый параллельный эвристический алгоритм реконструкции для круговой схемы сканирования в коническом пучке рентгеновских лучей. С помощью реконструкций по рентгеновским проекциям реального пациента показано, что он может быть использован в качестве альтернативы алгоритму Фельдкамп, который используется на линейном ускорителе Электра Синержи. Показано, что использование регуляризации методом тотальной вариации уменьшает уровень шума в реконструируемом трехмерном изображении и улучшает его качество, одновременно сохраняя четкие границы.

Литература

1. Lange K., Fessler J. A. Globally Convergent Algorithms for Maximum a Posteriori Transmission Tomography / K. Lange, J. A. Fessler // IEEE Trans. on Image Processing – 1995. – Vol. 8. – No 10. – P. 1430–1438.
2. Andersen A. H., Algebraic reconstruction in CT from limited views / A. H. Andersen // IEEE Trans. Medical Imaging – 1989. – Vol. 8. – P. 50–55.
3. Венгринович В. Л. Итерационные методы томографии / В. Л. Венгринович, С. А. Золотарев // Минск: «Белорусская наука», – 2009. – 227 с.
4. Segal M., Fast shadows and lighting effects using texture mapping / M. Segal, C. Korobkin, R. van Widenfelt, J. Foran, and P. E. Haeberli // SIGGRAPH'92. – 1992. – Vol. 26. – P. 249–252.
5. Jia R. Q., A fast algorithm for the total variation model of image denoising / H. Q. Zhao // Adv. Comput. Math. – 2010. – Vol. 33. – P. 231–241.

Поступила 10.07.15

После доработки 22.09.15

S. A. ZOLOTAREV, M. A. MIRZAVAND

FAST ITERATIVE KILOVOLTAGE CONE BEAM TOMOGRAPHY

Creating a fast parallel iterative tomographic algorithms based on the use of graphics accelerators, which simultaneously provide the minimization of residual and total variation of the reconstructed image is an important and urgent task, which is of great scientific and practical importance. Such algorithms can be used, for example, in the implementation of radiation therapy patients, because it is always done pre-computed tomography of patients in order to better identify areas which can then be subjected to radiation exposure.

УДК 681.3.07

А. С. АБУФАНАС, А. А. ЛОБАТЫЙ

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ОБЪЕКТОВ ПО КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается выбор одного объекта из нескольких, имеющихся в наличии, по критериям эффективности их применения на основе экспертной оценки. Используется метод анализа иерархий двух уровней при трех различных альтернативах решений. Для каждого уровня иерархии получены матрицы парных сравнений, проведена их нормировка и вычислены значения комбинированных весов критериев, на основе которых принимаются решения о выборе.

Введение

В современном мире существует не много стран, которые могут самостоятельно без сотрудничества с другими странами производить большинство технических систем и оборудования военного или гражданского назначения. Перед большинством стран мира, а также – перед государственными или частными организациями стоят задачи приобретения (закупки) различных технических систем (ТС) или их компонентов за рубежом. При принятии решения о приобретении той или иной ТС гражданского или военного назначения приходится учитывать много факторов и критериев, важнейшим из которых является эффективность применения ТС по основному предназначению. Эффективность ТС может быть оценена экспериментально или теоретически путем математического моделирования [1, 2, 3].

В зависимости от постановки задачи следует выбирать различные подходы к построению методики принятия решения при разработке ТС или её закупке, а также – при выборе варианта её применения. Если выбор решения зависит от многих факторов и критериев и альтернативные решения, как правило, связаны между собой детерминированными линейными функциями, то целесообразно применить подход, известный как метод анализа иерархий [5, 6, 7, 8, 9]. Этот метод особенно удобен при принятии решений о приобретении ТС в случае, когда приходится принимать решения на основе многих критериев, имеющих

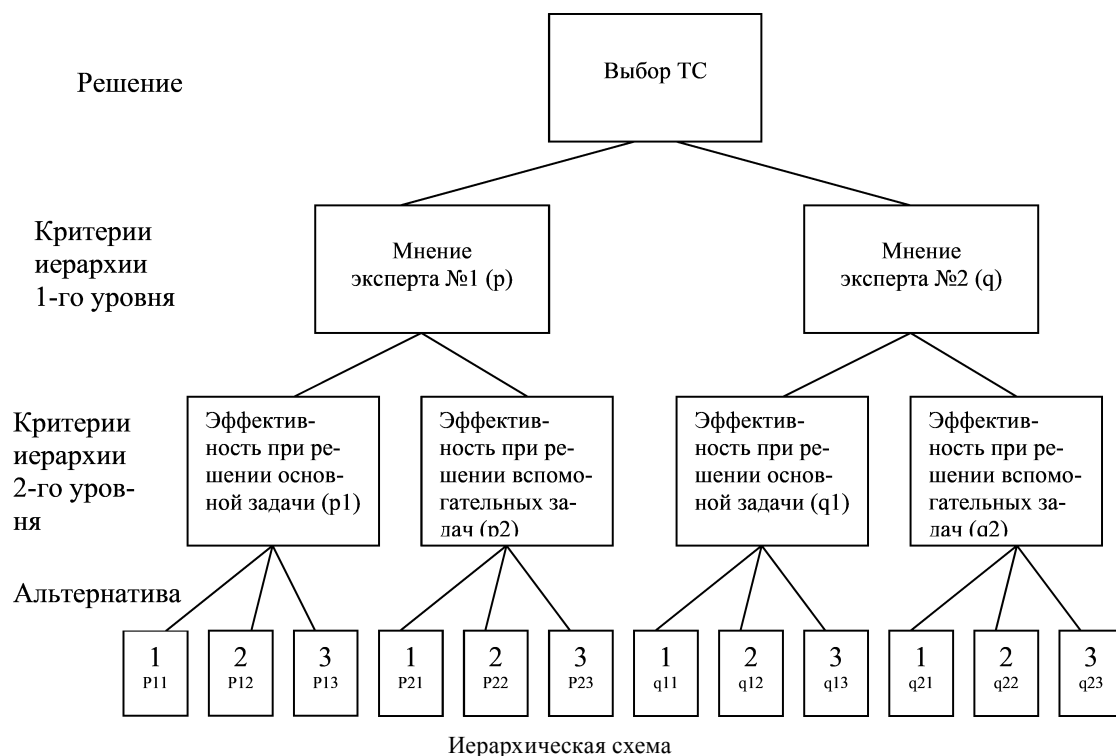
различный физический смысл. Кроме априорно известной эффективности ТС при принятии решения необходимо учитывать также такие критерии как стоимость ТС при закупке, затраты на эксплуатацию ТС и некоторые другие факторы, которые могут быть непосредственно учтены в аналитической модели.

Рассмотрим пример выбора одного из трех вариантов ТС при учете различных критериев. В качестве критериев первого уровня выберем мнения двух независимых экспертов. В качестве критериев второго уровня выберем априорно рассчитанные или полученные экспериментально значения эффективности применения ТС при решении основной задачи и эффективность применения ТС при решении вспомогательных задач (универсальность ТС).

Решение задачи

Структура задачи принятия решения о закупке ТС может быть представлена в виде иерархической схемы (рисунок), на которой в качестве примера представлен вариант, при котором рассматривается для приобретения один из трех возможных ТС. На рисунке обозначены весовые коэффициенты каждого критерия ($p, q, p1, q1, p11, q11$ и т. д.).

Значения весовых коэффициентов удобно вычислять по методике, изложенной в [7], в соответствии с которой для оценки альтернативных решений для n критериев на заданном уровне иерархии создается матрица парных сравнений A с элементами a_{ij} размерности $n \times n$,



которая отражает суждения лица, принимающего решение относительно важности разных критериев. Парное сравнение выполняется таким образом, что критерий в i -й строке ($i = 1, n$) оценивается относительно каждого из критериев, представленных n столбцами.

В соответствии с методом анализа иерархий для описания упомянутых оценок используются целые числа от 1 до 9. При этом $a_{ij} = 1$ означает, что i -й и j -й критерии одинаково важны, $a_{ij} = 5$ означает, что i -й критерий «значительно важнее», чем j -й, а $a_{ij} = 9$ означает, что i -й критерий «чрезвычайно важнее» j -го. Другие промежуточные значения парных сравнений a_{ij} между 1 и 9 интерпретируются аналогично. Элементы a_{ji} матрицы A принимают значения обратные элементам a_{ij} . Если $a_{ij} = K$, то $a_{ji} = 1/K$. Диагональные элементы матрицы A $a_{ii} = 1$, так как они определяют оценку критерия относительно самого себя.

В приведенном примере (рисунок) определим матрицу A . Вначале рассмотрим первый иерархический уровень, на котором учитываются мнения экспертов. Пусть мнения обоих экспертов равноценны. Тогда, исходя из условия нормировки, учитывающего, что сумма весовых коэффициентов каждого уровня иерархии равна единице, следует, что $p = 0.5$ и $q = 0.5$.

На втором уровне иерархии в качестве критериев рассматриваются эффективности ТС при решении основной задачи и при решении вспомогательных задач. Обозначим критерии основной и вспомогательный через КО и КВ. Рассмотрим пример, когда по мнению обоих экспертов эффективность ТС при решении основной задачи значительно важнее эффективности при решении вспомогательных задач в соотношении семь к одному. Следовательно, элемент матрицы A $a_{ОВ} = a_{12} = 7$, $a_{ВО} = a_{21} = 1/7$. Матрица сравнения в этом случае имеет вид

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{КО} & \text{КВ} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{КО} \\ \text{КВ} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 7 \\ 1/7 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Относительные веса критериев КО и КВ определяются путем деления элементов каждого столбца на сумму элементов этого же столбца. Для нормализации матрицы A необходимо делить элементы первого столбца на величину $1 + 1/7 = 0,143$, а элементы второго столбца на величину $1 + 7 = 8$. В результате получим нормированную матрицу

$$NA = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{КО} & \text{КВ} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{КО} \\ \text{КВ} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,875 & 0,875 \\ 0,125 & 0,125 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Искомые значения весовых коэффициентов вычисляются в виде средних значений элементов соответствующих строк нормализованной матрицы NA . Для данного примера они равны следующим значениям: $p_1 = q_1 = 0,875$, $p_2 = q_2 = 0,125$.

Пусть относительные веса альтернативных решений p_{ij} , q_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$), соответствующих рассматриваемым ТС, вычисляются в пределах каждого критерия КО и КС первым экспертом с использованием следующих матриц сравнения

$$A1_{КО} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/6 \\ 3 & 1 & 3/6 \\ 6 & 6/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A1_{КВ} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 4/3 \\ 1/4 & 3/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Элементы матриц $A_{КО}$ и $A_{КВ}$ определены на основе суждений первого эксперта об относительной важности каждого из трех ТС в соответствии с заданными критериями КО и КВ. Проведя нормировку матриц $A_{КО}$ и $A_{КВ}$ путем деления каждого элемента на суммы элементов соответствующих столбцов (10, 3,333, 1,667) и (1,583, 4,750, 6,333), получим нормированные матрицы сравнения.

$$NA1_{КО} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,3 & 0,3 & 0,3 \\ 0,6 & 0,6 & 0,6 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$NA1_{КВ} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,632 & 0,632 & 0,632 \\ 0,210 & 0,210 & 0,210 \\ 0,158 & 0,158 & 0,158 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Рассмотрим построение матриц альтернативных решений на основе мнения второго эксперта относительно сравнительной оценки вариантов ТС1, ТС2, ТС3. В соответствии с КО и КВ его оценки альтернатив выразились следующими матрицами

$$A2_{КО} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 1 & 4/3 \\ 3 & 3/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A2_{КВ} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 6 & 3 \\ 1/6 & 1 & 3/6 \\ 1/3 & 6/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Нормированные матрицы в этом случае имеют вид

$$NA2_{КО} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,125 & 0,125 & 0,125 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,375 & 0,375 & 0,375 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$NA2_{КВ} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TC1 & TC2 & TC3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} TC1 \\ TC2 \\ TC3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,667 & 0,667 & 0,667 \\ 0,111 & 0,111 & 0,111 \\ 0,222 & 0,222 & 0,222 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Вычислив средние значения элементов строк матриц $NA1_{КО}$, $NA1_{КВ}$, $NA2_{КО}$, $NA2_{КВ}$ получим искомые значения весовых коэффициентов альтернативных решений: $p_{11} = 0,1$, $p_{12} = 0,3$, $p_{13} = 0,6$, $p_{21} = 0,632$, $p_{22} = 0,210$, $p_{23} = 0,158$, $q_{11} = 0,125$, $q_{12} = 0,5$, $q_{13} = 0,375$, $q_{21} = 0,667$, $q_{22} = 0,111$, $q_{23} = 0,222$.

Выбор типа ТС определяется максимальным комбинированным весом критериев каждого ТС, которые для данного примера вычисляются по формулам

$$TC1 = p \times (p_1 \times p_{11} + p_2 \times p_{21}) + q \times (q_1 \times q_{11} + q_2 \times q_{21}), \quad (1)$$

$$TC2 = p \times (p_1 \times p_{12} + p_2 \times p_{22}) + q \times (q_1 \times q_{12} + q_2 \times q_{22}), \quad (2)$$

$$TC3 = p \times (p_1 \times p_{13} + p_2 \times p_{23}) + q \times (q_1 \times q_{13} + q_2 \times q_{23}). \quad (3)$$

Если считать авторитет мнения первого и второго экспертов одинаковым, то в этом случае $p = 0,5$ и $q = 0,5$ и следовательно в соответствии с формулами (1)–(3) $TC1 = 0,167$, $TC2 = 0,288$, $TC3 = 0,545$. На основе этих вычислений ТС3 получает наивысший комбинированный вес и, следовательно, является наи-

более оптимальным выбором. Выбор варианта ТС3 является в этом случае очевидным. Если авторитет второго эксперта принимается более высоким, например как семь к трем, то $p = 0,3$ и $q = 0,7$. В этом случае в соответствии с формулами (1)–(3) $ТС1 = 0,185$, $ТС2 = 0,403$, $ТС3 =$

$0,413$. Явного преимущества вариант ТС1 уже не имеет и для принятия окончательного решения следует учитывать дополнительные критерии, в качестве которых может рассматриваться стоимость закупки ТС или затраты на ее эксплуатацию.

Литература

1. Антонов, А. В. Системный анализ. Учеб. для вузов / А. В. Антонов. – М.: Высш. шк., 2006. – 454 с.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Дрофа, 2006. – 206 с.
3. Вишняков, Я. Д. Общая теория рисков / Я. В. Вишняков, Н. Н. Радаев. – М.: Издательский дом «Академия», 2007. – 368 с.
4. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т. Л. Саати. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
5. Саати, Т. Л. Об измерении неосозаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т. Л. Саати // Журнал «Cloud Of Science». 2015. Т. 2. № 1. (http://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_5.pdf).
6. Saaty, Thomas L. (2008–06). «Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process». RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics) 102 (2): 251–318. Проверено 2008–12–22.
7. Таха, Х. А. Введение в исследование операций / Х. А. Таха. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
8. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 464 с.
9. Митихин, В. Г. Об одном контрпримере для метода анализа иерархий / В. Г. Митихин // Проблемы управления. – 2012. – № 3. – С. 77–79.
10. Фоменко, Н. А. Вариант практического применения метода анализа иерархий при согласовании результатов расчета в процессе оценки / Н. А. Фоменко // <http://anf-ocenka.narod.ru/35.pdf>
11. Абакаров, А. Ш. Программная система поддержки принятия рациональных решений «MPRIORITY 1.0» / А. Ш. Абакаров, Ю. А. Сушков // Электронный научный журнал «Исследовано в России», 2005. 2130–2146.
12. Drake, P. R. (1998). «Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education» (PDF). International Journal of Engineering Education 14 (3): 191–196. Проверено 2007–08–20.

Поступила 10.07.15

После доработки 15.09.15

UDC 681.3.07

Abufanas A. S., Lobaty A. A.

DECISION-MAKING IN THE SELECTION OF OBJECTS ACCORDING TO THE CRITERIA OF EFFICIENCY

We consider the selection of one object from several available, according to the criteria of efficiency of their application based on peer review. Use the method of analysis of hierarchies two levels at three different alternatives solutions. For each level of the hierarchy obtained matrix of paired comparisons, carried out their normalization and calculated values of the combined weights of the criteria on which decisions about choosing.

УДК 519.876.5

Т. И. БУРАК¹, М. М. ТАТУР¹, М. М. ЛУКАШЕВИЧ¹, Р. В. ТРАЩЕЕВ²

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОБИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники²Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук

Приведена методика компьютерного моделирования сложных экологических и биологических систем на основе системного подхода Дж. Форрестера. Рассмотрены особенности применения математического моделирования в экологии и биологии. Методика апробирована на примере сообщества «растительность-лемминги-песцы».

Введение

Одним из наиболее актуальных вопросов математического моделирования, в том числе и в математической биофизике взаимодействующих популяций, является поиск способов обоснования гипотез о ведущих механизмах функционирования рассматриваемого эколого-биологического объекта в условиях недостатка информации о его свойствах. В данной работе такой поиск осуществлялся на примере моделирования колебания численности животных тундрового сообщества «растительность-лемминги-песцы».

Классификация видов математического моделирования может быть представлена через типовые схемы, которые просты и наглядны, но имеют более узкую область охвата: непрерывно-детерминированные модели (*D*-схемы), дискретно-детерминированные модели (*F*-схемы), дискретно-стохастические модели (*P*-схемы), непрерывно-стохастические модели (*Q*-схемы), сетевые модели (*N*-схемы). Биофизика наряду с экспериментальными методами активно использует математические модели для описания процессов в живых системах различного уровня организации. В отличие от физических процессов, которые хорошо поддаются описанию с помощью математического аппарата, математическая формализация процессов, происходящих в живых системах, представляет значительные трудности. Поэтому при построении биологических моделей применяется абстрагирование и идеализация

процессов внутри системы с математической точки зрения. В большинстве случаев сложность описания биологических систем и процессов исключает возможность использования аналитического моделирования [1–4].

2. Методика моделирования

В большинстве прикладных задач требуется работать со сложными динамическими системами, и в этом случае функционала типовых схем оказывается недостаточно. Один из подходов к моделированию динамических систем описан в работах Дж. Форрестера [5]. Этот подход объединяет в себе черты типовых схем и является интуитивно-понятным и гибким инструментом при моделировании сложных динамических систем. Основная идея системного подхода заключается в том, что модель описывается как совокупность некоторых существенных для процесса моделирования характеристик, а изменение этих характеристик обуславливаются петлями обратных связей. Петля обратной связи – это замкнутая цепочка взаимодействия, которую можно описать следующим образом: изменение характеристики системы влечет за собой изменение окружающих условий (других характеристик), что в свою очередь вызывает дальнейшее изменение самой характеристики. Такой подход позволяет наиболее точно отразить процессы, происходящие внутри сложной динамической системы. Для описания системы с петлями обратных связей используются два вида пере-

менных: уровни и темпы. Уровень L – это численное представление некоторой существенной для моделирования характеристики системы. Темп D_L описывает изменение некоторого уровня L в процессе моделирования. В общем случае изменение уровней описывается формулой 1:

$$L(t_{i+1}) = L(t_i) + \Delta t \sum_j D_{Lj}(IL_D(t_i)), \quad (1)$$

где Δt – промежуток времени между двумя итерациями моделирования; D_{Lj} – темпы, относящиеся к уровню L ; $IL_D = \{L_0, j, L_m\}$ – некоторый набор уровней системы, которые влияют на изменение уровня L .

Здесь и далее будем считать, что $t_0, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, t_n$ – дискретные моменты времени, соответствующие итерациям моделирования (i – номер итерации), и $t_i - t_{i+1} = \Delta t \forall i \in [1, n]$. Если взять Δt достаточно малым и учесть, что $t_{i+1} = t_i + \Delta t$, получим следующее уравнение (формула 2):

$$\frac{L(t_{i+1}) - L(t_i)}{\Delta t} = \frac{DL}{\Delta t} \approx L' = \sum_j D_{Lj}(IL_D(t_i)). \quad (2)$$

Таким образом, модель может быть представлена в виде D -схемы как система дифференциальных уравнений. В зависимости от того, используют ли темпы D_L вероятностную составляющую при описании законов изменения уровней L , подход Дж. Форрестера может быть использован для описания как детерминированных, так и стохастических моделей. Для описания уровня L системы достаточно указать начальное значение уровня $L(t_0)$, а также набор темпов D_{Li} , которые будут отвечать за изменение уровня в процессе моделирования. Такой подход к описанию уровней дает возможность введения дополнительного класса переменных – констант. Константой наваляется уровень, для которого не определено ни одного темпа, то есть значение такого уровня не изменяется в процессе моделирования. Для упрощения описания темпов и получения дополнительной информации о модели введем временные переменные Tmp . Временные переменные представляют собой промежуточные результаты вычислений, которые используются при расчетах темпов. Также при выводе результатов моделирования временные переменные могут использоваться как дополнительные показатели состояния модели. При описа-

нии модели временные переменные задаются как функциональные зависимости от уровней и других временных переменных (формула 3):

$$Tmp(t_i) = f(IL(t_i), IT(t_i)), \quad (3)$$

где $IL = \{L_0, \dots, L_m\}$ – некоторый набор уровней системы, от которых зависит значение данной временной переменной; $IT = \{Tmp_0, \dots, Tmp_k\}$ – некоторый набор временных переменных, от которых зависит значение данной временной переменной.

Так как экобиологические системы являются комплексными и состоят из множества взаимодействующих компонент, необходимо предусмотреть возможность разбиения большой системы на составляющие подсистемы меньшего размера, что упростит процесс описания модели и обеспечит её иерархическую структуру. Для этого введем понятие объекта модели. Объект Obj – это структурный элемент модели, который является условным обозначением компонент системы. Каждый объект представляет собой подмодель, компоненты которой также могут взаимодействовать с компонентами других подмоделей. Разбиение сложных систем на отдельные компоненты значительно упрощает процесс описания модели. Иерархическая структура модели представлена на рис. 1.

Процесс моделирования сложных экобиологических систем можно условно разделить на три этапа: построение модели, настройка модели, проведение экспериментов. При построении модели можно руководствоваться следующей последовательностью действий:

1. Сложную систему необходимо разбить на составляющие компоненты, то есть выполнить декомпозицию системы. Полученные компоненты будут соответствовать объектам модели. В случае если компоненты сами по себе являются сложными системами, можно повторить операцию декомпозиции для них. Таким образом, в результате получится иерархическая структура объектов.

2. Необходимо определить характеристики системы в целом и каждого компонента в отдельности, которые будут характеризовать состояние системы, и показывать динамику изменения системы во времени. Эти характеристики будут соответствовать уровням модели. В первую очередь сюда относятся ключевые

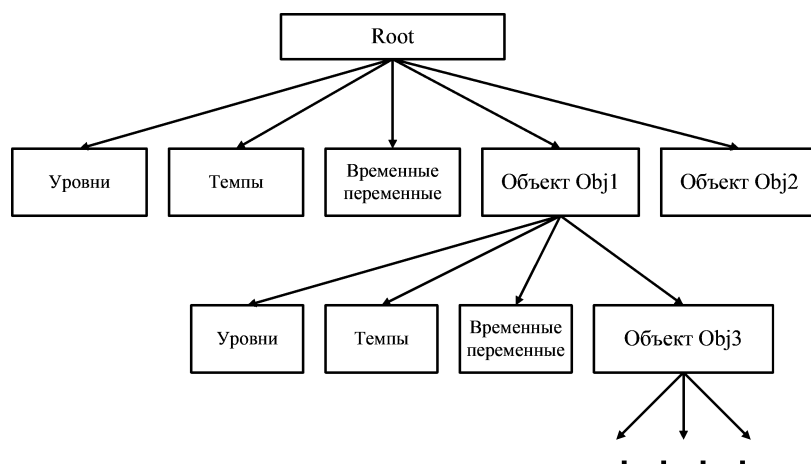


Рис. 1. Иерархическая структура модели

характеристики, которые будут являться предметом исследования в процессе моделирования. Также в модель могут быть введены дополнительные уровни, которые представляют факторы, влияющие на ключевые уровни.

3. Для каждого уровня необходимо определить набор факторов, которые влияют на значение данного уровня. Проанализировав полученный набор факторов и степень их влияния на уровень также необходимо составить некоторую функциональную закономерность между ними и тем, насколько значение соответствующего уровня изменится за некоторый промежуток времени Δt . Таким образом, в результате будут описаны темпы изменения уровней.

4. Кроме описанных выше структурных элементов в модель также могут быть введены временные переменные. Они представляют собой промежуточные результаты вычислений для описания функциональной зависимости для темпов и могут быть использованы для упрощения их описания.

3. Программная реализация

Моделирование системы есть последовательное получение состояний системы через некоторые промежутки времени. Процесс моделирования как последовательной смены состояний системы, в таком случае, аналогичен процессу моделирования дискретно-детерминированных F -схем. При этом сложная нелинейная функциональная зависимость между состояниями системы выполняет ту же роль, что и функция переходов для конечных автоматов. Обозначим состояние модели S_M как множество значений уровней модели L_i и вре-

менных переменных Tmp_j в соответствующий момент времени (формула 4):

$$S_M(t_i) = \{L_0(t_i), \dots, L_N(t_i), \\ Tmp_0(t_i), \dots, Tmp_K(t_i)\}, \quad (4)$$

где N – общее количество уровней модели; K – общее количество временных переменных модели.

Процесс моделирования показан на рис. 2. На начальном этапе программа производит инициализацию модели: описывает все необходимые уровни и темпы модели, а также инициализирует начальные значения уровней

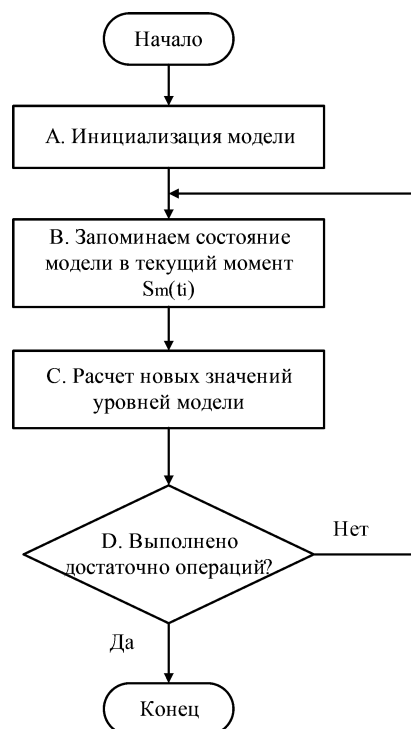


Рис. 2. Алгоритм процесса моделирования

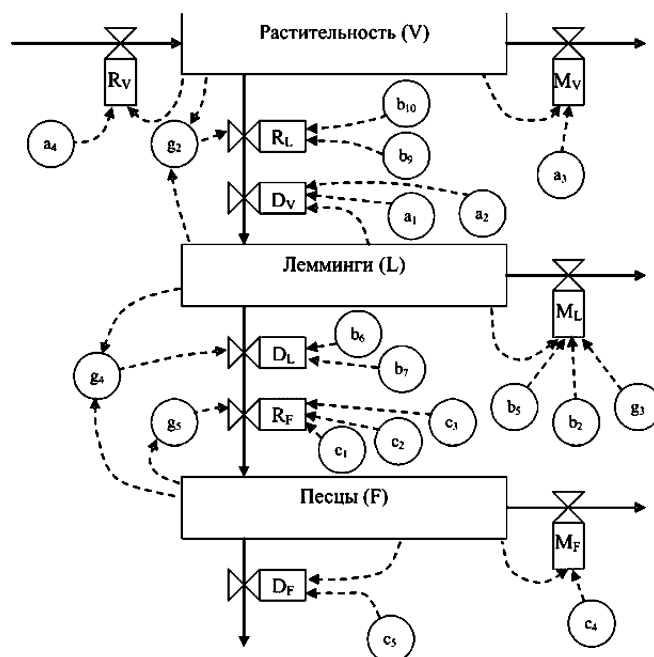


Рис. 3. Имитационная диаграмма модели «растительность-лемминги-песцы»

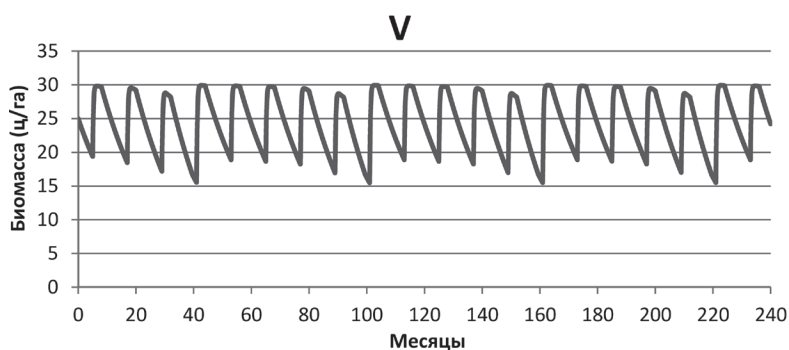


Рис. 4. Уровень растительности

(пункт *A*). Далее сохраняется состояние системы $S_m(t_i)$, то есть запоминаются значения уровней $\{L_j(t_i)\}$ (пункт *B*). Используя состояние системы $S_m(t_i)$ рассчитываются новые значения уровней системы $\{L_j(t_{i+1})\}$ используя формулу (1) (пункт *C*). Пункты *B–C* составляют одну итерацию моделирования. Далее счетчик выполненных итераций инкрементируется и проверяется, достаточно ли итераций выполнено (пункт *D*). Пункты *B–D* повторяются до тех пор, пока не выполнится условие в пункте *D*, то есть пока не будет выполнено достаточное количество итераций.

4. Результаты моделирования: модель сообщества «растительность-лемминги-песцы»

Имитационная модель сообщества «растительность-лемминги-песцы» строится с помо-

щью метода системной динамики Дж. Форрестера. Имитационная диаграмма для данной модели представлена на рис. 3.

На рис. 3 a_i , b_i , c_i – параметры подсистемы растительности, леммингов, и песцов соответственно, g_i – экспертно оцененные функции (множители). R_X (положительный темп прироста), D_X (отрицательный темп отчуждения), M_X (отрицательный темп смертности) – функции определяющие, соответственно, скорости прироста, отчуждения и естественного отмирания в каждом трофическом уровне X .

В результате программной реализации данной имитационной модели сообщества «растительность-лемминги-песцы» получены результаты моделирования, которые подтверждают гипотезу о ведущих механизмах функционирования рассматриваемого эколого-биологического объекта [6, стр. 42–54], рис. 4–6.

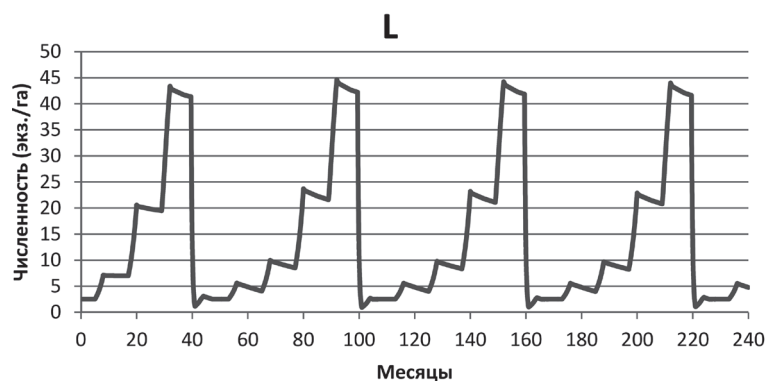


Рис. 5. Численность леммингов

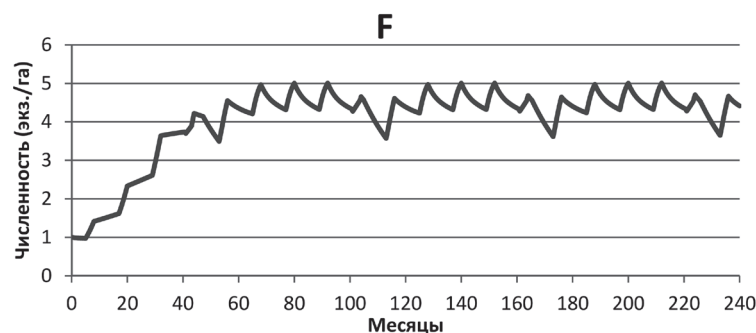


Рис. 6. Численность песцов

Заключение

Предложенная методика является основой для создания систем экобиологического моделирования. Разработан программный инструментарий для обоснования гипотез о ведущих механизмах функционирования различных

эколого-биологических объектов. Разработанная методика отличается от известных тем, что в ее основу положены работы Дж. Форрестера в области моделирования сложных динамических систем. Работа выполнена в рамках гранта фонда фундаментальных исследований (№Ф14Р-042 от 23.05.2014 г.).

Литература

1. Советов Б. Я., Яковлев С. А., Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
2. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука, 1997. – 320 с.
3. Ризченко Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 184 с.
4. Тутубалин В. Н., Барабашева Ю. М., Григорян А. А. и др. 1999. Математическое моделирование в экологии: историко-методологический анализ. – М.: Наука. – 208 с.
5. Forrester, Jay W. Principles of Systems. (2nd ed.). – MA: Pegasus Communications, Waltham, 1968. – P. 391.
6. Тращев Р. В., Люлякин О. П., Саранча Д. А., Юрезанская Ю. С. Метод комплексных исследований на примере моделирования популяций леммингов – М.: ВЦ РАН, 2014. – 115 с.

Поступила 10.07.15

После доработки 15.09.15

BURAK T. I., TATUR M. M., LUKASHEVICH M. M., TRASHCHEEV R. V.

ECO-BIOLOGICAL SYSTEM MODELING

The methodology for computer modeling of complex eco-biological models is presented in this paper. It is based on system approach of J. Forrester. Developed methodology is universal for complex ecological and biological systems. Modeling algorithm considers specialties of eco-biological systems and shows adequate and accurate results in practice.

О. В. ЛАВРИЧЕНКО

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА БАЗЕ НЕМАНИПУЛИРУЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

ОАО «Концерн Моринформсистема-Агат»

В статье рассмотрены некоторые аспекты проблемы сбалансированного распределения ограниченных инновационных ресурсов, предлагается авторское решение этой задачи на основе неманипулируемых механизмов принятия решений. Автором модифицирован классический итерационный алгоритм распределения ресурсов при нетрансферабельной полезности предпочтений лиц, принимающих решения, применительно к многокритериальным задачам параметризации баланса их распределения. Определены и формализованы условия достаточности и целесообразности применения некоторых классов этих механизмов для разработки когнитивных моделей (КМ) управления ограниченными инновационными ресурсами.

Введение

Современная теория управления организационными системами, к которым относятся и инновационные системы предприятий, исследует когнитивные модели управления (КМУ) с учетом специфики активности человека и механизмов (возможности) манипулирования лицами, принимающими решения (ЛПР), со стороны тех лиц, которые предоставляют ЛПР информацию и могут оказывать влияние на их выбор.

Анализ работ отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4] показал, что оптимальные КМУ ограниченными инновационными ресурсами (ИнР) целесообразно искать в классе неманипулируемых механизмов принятия решений (НМПР). Для российских предприятий в условиях применения к ним экономических санкций со стороны стран Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки задача оптимизации распределения ИнР особенно актуальна.

Концепция сбалансированного распределения ограниченных ИнР в рамках авторской теории экономики активного коннекта уже рассматривалась нами с позиций анализа многомерных структур неоднородных совокупностей, а также с использованием методов случайных выборок, отношения Парето и поиска экстремальных значений интеграла Шоке [5].

Тем не менее, ряд вопросов выбора оптимальных решений по управлению ИнР отражен в существующей литературе недостаточно полно. Поэтому целью данной работы является исследование общих подходов к разработке КМУ ограниченными ИнР предприятия на базе НМПР для задач многокритериального индивидуального и коллективного принятия решений ЛПР.

Теоретический анализ проблемы

Ряд современных исследователей считает, что при разработке механизмов обеспечения эффективности принимаемых решений по управлению ИнР необходимо учитывать возможность манипулирования полезной информацией, сообщаемой ЛПР менеджерами предприятий, то есть возможность целенаправленного искажения информации с целью обеспечения принятия ЛПР наиболее благоприятных для них решений [6]. Механизмы интеллектуальной поддержки принятия решений, которые устойчивы к недостоверной или неполной информации, мы будем называть неманипулируемыми. Под функцией полезности информации будем понимать формализацию заинтересованности менеджеров предприятий в решениях ЛПР концерна (корпорации) и типизацию информации об их предпочтениях в отношении результатов этих решений. К трансфера-

бальной функции полезности мы относим абсолютную или аддитивную модель информации, сообщаемой указанными менеджерами ЛПР.

В авторской теории экономики активного коннекта при разработке КМУ ИнР важна формализация и типизация процессов принятия решений ЛПР в общей постановке или MD (от английского Making Decisions, то есть принятие решений). В общем случае MD можно представить в таком виде: $MD = \langle O, P, T, Ip \rangle$, где O – множество объектов управления, P – политики управления по числу объектов, T – временные интервалы принятия решений, Ip – информационные процессы, реализуемые для обеспечения поддержки политики управления [7].

Таким образом, несмотря на многочисленные исследования, до сих пор остается нерешенным целый ряд вопросов. В частности, отметим следующие: хотя существуют алгоритмы построения НМПР, но отсутствует аналитическая форма их записи; рассматриваемые НМПР отличаются друг от друга как по описанию, так и по своим свойствам – это не позволяет провести их декомпозицию до более простых механизмов, эквивалентных по эффективности манипулируемым; сложность, неочевидность и непрозрачность НМПР усложняют их реализацию.

Поэтому разработка КМУ ИнР предприятия на базе НМПР для задач с нетрансферабельной полезностью информации с непрерывным множеством допустимых вариантов их решения является центральной задачей нашего исследования. Однако необходимо отметить, что в нашей статье ЛПР принимают решения в условиях полной информации, то есть получаемой ими как от менеджеров предприятий, так и по другим каналам. Поэтому для случаев, когда им приходится принимать управленческие решения в условиях дефицита информации, необходимо дополнительное исследование, хотя и при таких условиях возможно манипулирование менеджерами информацией, сообщаемой ими ЛПР, в том числе и по созданию дефицита «нежелательной для них информации».

Формально процесс интеллектуальной поддержки принятия решений промышленного концерна записывается с использованием сле-

дующих обозначений: X – множество допустимых значений набора планируемых параметров для ЛПР, Ω – множество возможных значений исходной информации ω , передаваемой менеджерами предприятия, то есть набор данных, на основании которых ЛПР принимает решение (здесь и далее по тексту для обозначения множеств мы будем использовать жирный шрифт).

Пусть для некоторого критерия эффективности «К» (например, затраты на производство, объем выпуска продукции и т. д.) процедура планирования $f: \Omega \rightarrow X$ – является оптимальной (далее – целевая процедура). С точки зрения управляемости целевая процедура должна быть однозначной, т. е. в случае, если для какого-либо ω существует множество планов $X^*(\omega) \in X$, оптимальных по критерию «К», то процедура планирования должна обеспечивать выбор единственного решения $x^* \in X^*(\omega)$.

Заинтересованность менеджеров предприятий в определенных решениях ЛПР по распределению ограниченных инновационных ресурсов концерна между предприятиями формализуется функциями полезности $u^i: \Omega \times X \rightarrow R^i$, где $i \in N$ – индекс предприятия, N – множество предприятий. Класс возможных функций полезности обозначим как U^i , а набор функций полезности (профиль предпочтений) обозначим в виде U . С точки зрения теории эффективных механизмов [2] особую роль играют процедуры принятия решений, которые являются эффективными по Парето.

Задачу MD будем называть индивидуальной, если выполняется условие: $X = \times_{i \in N} X^i$ то $\forall i \in N u^i: \Omega \times X^i \rightarrow R^i$ – то есть набор планируемых параметров может быть разделен на несколько параметров, от каждого из которых зависит целевая функция только соответствующего предприятия. Группы менеджеров формально определим как C .

Задачу MD будем называть смешанной, если $\exists \mathbb{N} \in 2^N \setminus \Theta: X = \times_{C \in \mathbb{N}} X^C: \forall C \in \mathbb{N}, \forall i \in C u^i: \Omega \times X^C \rightarrow R^i$ и коллективной, если $\exists \mathbb{N} \in 2^N \setminus \Theta: X = \times_{C \in \mathbb{N}} X^C, \forall C \in \mathbb{N}, \forall i \in C u^i: \Omega \times X^C \rightarrow R^i$ [6].

В рамках подобной формализации необходимо определить $\omega_f: \Omega \times U \rightarrow v$ – преобразование, описывающее искажение передаваемой

информации (v) менеджерами предприятий с учетом их активности при заданной f . Если $\omega_f = \omega$, то процедура планирования f является неманипулируемой, т. е. робастной по отношению к активности менеджеров предприятий.

Для принятия решения ЛПР необходимо введение критерия, определяющего, насколько сильно искажаются результаты оптимального распределения ограниченных ИНР концерна из-за целенаправленной активности менеджеров предприятий, имеющей целью манипулирование решениями ЛПР. На практике в качестве данного критерия рассматривается погрешность манипулирования, то есть максимальное рассогласование результатов MD без и с учетом активности менеджеров предприятий по некоторой метрике L .

При выборе окончательного варианта решается задача уменьшения погрешности манипулирования. В формализованном виде эту задачу можно представить так: $p = \langle S, \pi \rangle$, где $S = \times_{i \in N} S^i$, S^i – множество допустимых действий (а не только сообщений) менеджеров предприятия, $i \in N$, $\pi: S \rightarrow X$ – процедура выбора ЛПР варианта MD, учитывающая целенаправленную активность менеджеров предприятий, где i – предпочтения каждого менеджера относительно решения ЛПР.

Множества S и Ω могут не иметь между собой ничего общего, но в рамках данной работы существенным является преобразование $S_\pi: \Omega \times U \rightarrow S$, определяющее действия менеджеров предприятий в процедуре π . Множество допустимых процедур MD обозначим как Π , а множество его допустимых механизмов – как P . Решение задачи уменьшения погрешности манипулирования процессом принятия решений ЛПР будем производить на основе модифицированного критерия:

$$\Delta_f(p) = \max_{\omega \in \Omega, u \in U} \|f(\omega) - \pi(S_\pi(\omega, u))\|_L \quad (1)$$

Сформулируем два определения, которые позволяют решить эту же задачу и с применением неманипулируемых механизмов поддержки принятия решений ЛПР по сбалансированному распределению ограниченных ИНР между предприятиями при нетрансферабельной полезности получаемой информации.

Определение 1. Механизм $\rho_f \in P$ является решением поставленной задачи, если он аппроксимирует целевую процедуру f :

$$p_f^* \in \text{Arg min}_{p \in P} \Delta_f(p) \quad (2)$$

Очевидно, что «идеальным» решением данной задачи является механизм, для которого $\Delta_f(\rho) \equiv 0$.

Определение 2. Механизм $\rho_f \in P$ полностью реализует целевую процедуру f , если $\Delta_f(\rho) \equiv 0$. При этом соответствующая целевая процедура называется полностью реализуемой.

Для определения достаточности и целесообразности применения некоторых классов НМПР для решения поставленной задачи также введем два определения. Все переменные нами уже формально определены выше.

Определение 3. Механизмы $\rho = \langle S, \pi \rangle$ и $\tilde{\rho} = \langle \tilde{S}, \tilde{\pi} \rangle$ эквивалентны для заданных Ω и U , если соблюдаются условия:

$$\forall \omega \in \Omega, \forall u \in U \pi(S_\pi(\omega, u)) \equiv \tilde{\pi}(\tilde{S}_\pi(\omega, u))$$

Определение 4. Процедура f обладает нередуцируемой погрешностью манипулирования, если механизм $\langle \Omega, f \rangle$ является решением задачи.

Обозначим через f_p – целевую процедуру принятия решения ЛПР, которая реализуется некоторым механизмом. Если обозначить через F_p – множество всех целевых процедур принятия решения, реализуемых классом механизмов P , то определение 2 для решения задачи может быть сформулировано в терминах подобных процедур следующим образом:

$$\rho: f_p \in \text{Arg min}_{f \in F_p} \max_{\omega \in \Omega} \|f(\omega) - \tilde{f}(\omega)\| \quad (3)$$

Из КМУ ИНР (3) следует, что при распределении ограниченных ИНР промышленного концерна между его предприятиями с числом более двух множество допустимых вариантов решения «X» определяется ресурсным ограничением «R» по следующей формуле:

$$X = \{x = \{x_1, \dots, x_m\} \in R_m^+ \mid \sum_{j=1}^m x_j \leq R\} \quad (4)$$

Заключение

1. Когнитивные модели управления ИНР, разработанные на основе неманипулируемых механизмов, позволяют ЛПР принимать индивидуальные решения, которые с достаточно высокой степенью эффективности обеспечивают сбалансированное распределение инновационных ресурсов концерна между его предприятиями.

2. Для задачи многокритериального коллективного (совместно с менеджерами предприятий) принятия решений, ЛПР необходимо расширить виды предпочтений, для которых могут быть описаны классы НМПР в условиях дефицита инновационных ресурсов.

Литература

1. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–180.
2. Коргин Н. А. Представление механизма последовательного распределения ресурсов как неманипулируемого механизма многокритериальной активной экспертизы/ Н. А. Коргин // Управление большими системами. – 2012. – № 36. – С. 186–208.
3. Cui T., Ye H., Teo H., Li J. Information technology and open innovation: a strategic alignment perspective. Information and Management, 2015, Vol. 52, pp. 348–358.
4. Hung W. H., McQueen R. Y., Yen D. C., Chau P. Y. K. Measuring the alignment of websites and organizational critical activities. Technology Analysis and Strategic Management, 2015, Vol. 27, pp. 550–568.
5. Лавриченко О. В. Системный анализ и управление инновационной системой промышленного предприятия / О. В. Лавриченко. – М.: Издательство Московского гуманитарного университета, 2015. – 234 с.
6. Коргин Н. А. Неманипулируемые механизмы принятия решений в управлении организационными системами: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ИПУ РАН, 2013. – 289 с.
7. Щербakov М. В. Интеллектуальная поддержка при принятии управленческих решений в цикле постоянного улучшения: дис. ... д-ра техн. наук. – Волгоград: Волгоградский ГТУ, 2014. 333 с.

Поступила 19.09.15

После доработки 20.11.15

O. V. LAVRICHENKO

COGNITIVE MODELING BASED ON NONMANIPULABLE MECHANISMS OF THE MANAGEMENT DECISION MAKING

The article discusses some aspects of the balanced allocation of the limited resources of the Russian innovative companies. The author's solution to this problem on the basis of non-manipulable mechanisms of decision-making. Author modified classical iterative algorithm of resource allocation when not transferable utility preferences of decision-makers, in relation to a multi-criteria problems parameterization balance for their distribution. In article defined and formalized terms of sufficiency and appropriateness for certain classes of these mechanisms usage for the development of the cognitive models of innovative management at limited resources.

УДК 004.5; УДК 004.92; УДК 623.438

П. А. КАЧАНОВ, А. А. ЗУЕВ, К. Н. ЯЦЕНКО

ЭФФЕКТ ПРОЕКЦИИ ПАНИНИ КАК СРЕДСТВО УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

В статье описан метод на основе проекции Панини для уменьшения перспективных искажений изображений с большим углом обзора. Проведен анализ особенностей построения проекции Панини. Предложена реализация эффекта на графических ускорителях как результата постобработки. Показано, что перспективное проецирование трехмерной сцены на поверхность параболического цилиндра уменьшает искажения.

Введение

Имитационно-тренажерные комплексы военной техники представляют собой системы реального времени, алгоритмы и методы которых оптимизированы на потребление малых вычислительных ресурсов при удовлетворении своих функциональных параметров. Система визуализации таких комплексов, которая направлена на создание реалистичных изображений внекабинной обстановки, является главным потребителем ресурсов предоставляемых центральным процессором и графическим ускорителем вычислительной системы. В свою очередь, создание визуальных эффектов для таких систем так же требует учета затрачиваемых ресурсов на выполнение алгоритмов.

Создание различных визуальных эффектов направлено в первую очередь на улучшение взаимодействия между оператором (экипажем боевой машины) и тем окружением, которое воспроизводит система визуализации тренажерного комплекса. Для визуализации трехмерной сцены на плоском экране необходимо ее преобразование в двумерное изображение. Классическая перспективная проекция, применяемая в компьютерной графике, при угле обзора больше 60 градусов создает периферические искажения и свеххудалает предметы сцены расположенные вдали. Как показано в работе [1], проекция Панини позволяет значительно повысить информативность синтези-

руемого изображения благодаря изменению пространственных искажений, заложенных в ее модели, с углом обзора 75–120 градусов. Такой угол обзора позволяет оператору более эффективно взаимодействовать с системой, в результате получения изображения близкого к воспринимаемому в физическом пространстве и зрительному восприятию человека.

Цель работы заключается в практическом подтверждении уменьшения перспективных искажений используя эффект проекции Панини. Для этого поставлены следующие задачи:

- Сделать анализ особенностей построения проекции Панини.
- Реализовать эффект проекции Панини для систем реального времени, на графических ускорителях, как результат постобработки.
- Сделать анализ полученных результатов на основе обработанных изображений.

1. Методы преобразования информационного содержания изображений трехмерного пространства

Для изменения информационной составляющей двумерной проекции трехмерной виртуальной сцены возможны несколько подходов. Реализация метода основанного на изменении непосредственно самой трехмерной сцены или метода проецирования описано в работах [2, 3].

Для некоторых приложений, модифицирование камеры трансформации и проекции предпочтительнее для изменения трехмерной фор-

мы отрисованного объекта. Баярди предложил метод не планарной перспективной проекции базирующийся на вычислении новых абсолютных координат для преобразования через проекционную матрицу [2].

Барр использовал метод нелинейной трассировки лучей для рендеринга деформированных объектов [3]. Однако приведенные методы требуют больших вычислительных затрат и являются неподходящими для систем реального времени с большими и сложными виртуальными сценами. Кроме этого, изменение геометрии сцены влечет за собой и необходимость преобразований всей физической модели системы.

Другими подходом является изменение непосредственно самого изображения. Карпендейл представила исследование посвященное использованию нелинейного искажения для визуализации информации [6]. В работе показано, что различные деформации и растяжения двумерного изображения отображают определенные изменения структуры трехмерной модели, если бы они были проделаны с ней непосредственно в трёхмерном пространстве.

В работах Боурка [4] и Янга [5] описываются модели для создания эффекта сферической и нелинейной проекции соответственно. Данный подход успешно может быть реализован на графических ускорителях как эффект постобработки, поскольку при простоте проекционной модели не потребуются больших вычислительных ресурсов.

Искажения, которые вносит перспективная проекция (особенно заметны с увеличением угла обзора), создает неправильное представление у наблюдателя о структуре трехмерной сцены. Поскольку избежать искажений возникающих при проецировании трехмерного изображения на плоскость невозможно [7], в работе [1] выдвигается концепция, согласно которой, необходимо ввести предопределенные искажения картинной плоскости, известные наблюдателю, которые были бы полностью наблюдаемы, т. е. представляли собой деформированную картинную плоскость.

Базируясь на предположении в работе [7], а также исходя из исследований Карпендейл [6] в данной работе рассматривается реализация эффекта проекции Панини, как метода для уменьшения перспективных искажений, на гра-

фических процессорах, с использованием моделей предложенных в работах [4, 5].

2. Особенности построения проекции Панини. Эффект проекции Панини как результат постобработки

Проекция Панини детально описана в работах [1, 8] и представляет собой гномоническую проекцию трехмерного цилиндрического изображения, которое является линейной проекцией изображения сферы на касательный цилиндр. В классической реализации проекции исходным является изображение, полученное с помощью сверхширокоугольного объектива, которое затем проецируется на цилиндрическую поверхность, с центром проекции на расстоянии d (центр гномонической проекции) от оси цилиндра в направлении оси наблюдения (совпадает с осью Z), а с нее – на картинную плоскость (ортогональным проецированием), используя гномонический проекционный масштабный коэффициент S для точки:

$$S = \frac{d + 1}{d + \cos(\varphi)}, \quad (1)$$

где $d + 1$ – расстояние от центра проекции до картинной плоскости, а $d + \cos(\varphi)$ – расстояние от центра проекции до параллельной плоскости содержащей точку цилиндра, угол φ – долгота в полярных координатах.

Из формулы (1) видно, что масштабный коэффициент S является параболой. Благодаря этому, в частности, создаются два боковых центра проекции.

В предлагаемой реализации, исходным выступает изображение, полученное с помощью классической для компьютерной графики линейной перспективы.

Двумерная проекция сцены трехмерных объектов, которые находятся в пределах объема ограниченного передней и задней плоскостями отсечения, отображается на плоскости проекции (проекции вида) [9]. Синтез растрового изображения происходит на этапе растеризации графического конвейера. Используемая на этом этапе матрица проецирования включает масштабирующие коэффициенты по вертикали w и горизонтали h , которые зависят от поля зрения камеры (FOV):

$$w = \frac{1}{\tan(FOV_w / 2)}, \quad (2)$$

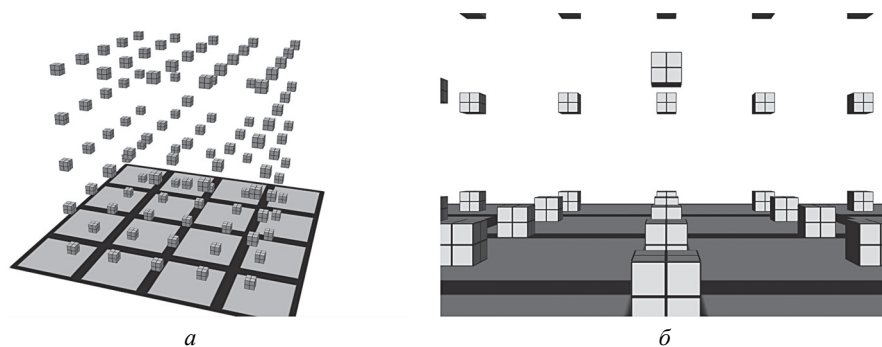


Рис. 1. Тестовая трехмерная сцена: *a* – общий вид; *б* – вид из камеры с углом обзора 45°

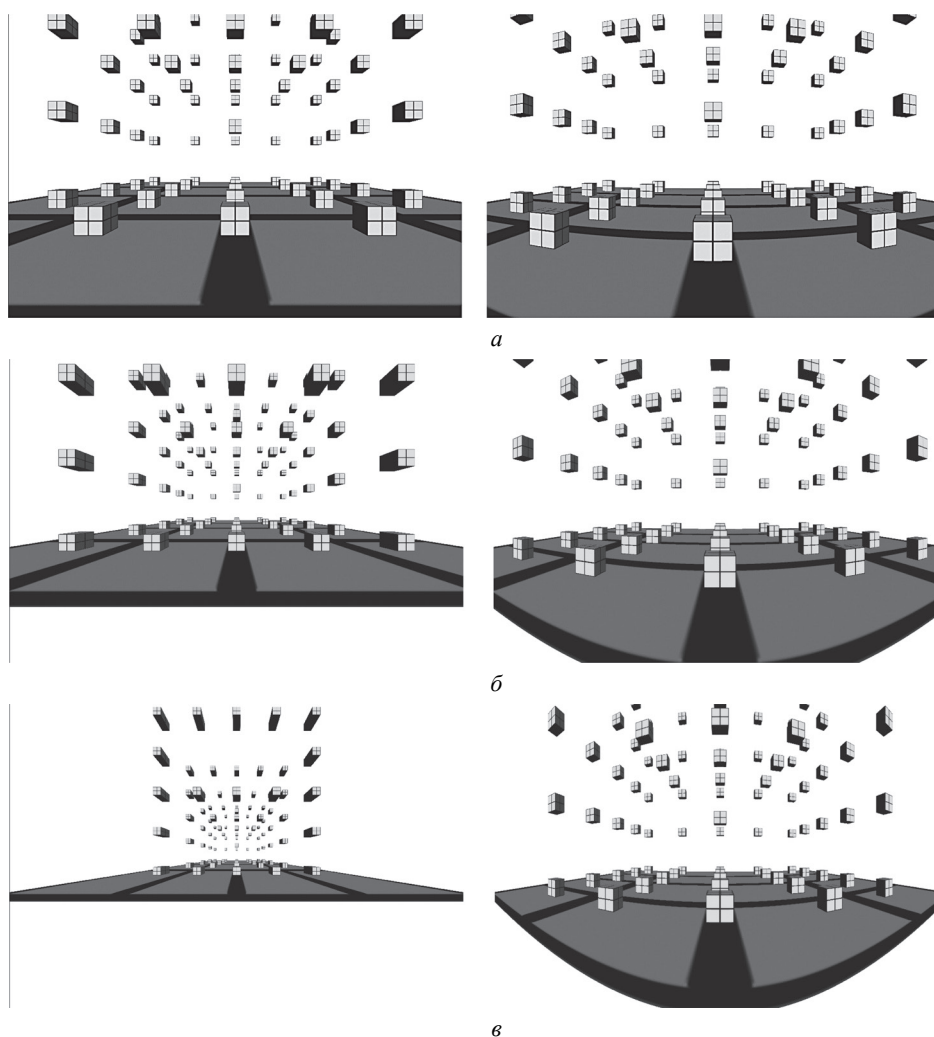


Рис. 2. Результаты работы для *FOV* (слева – исходное изображение): *a* – 90°; *б* – 120°; *в* – 150°

$$h = \frac{1}{\tan(FOV_h / 2)} \quad (3)$$

В работе предлагается для реализации эффекта проекции Панини спроецировать полученное перспективное изображение на параболический цилиндр $y = d - x^2$. Реализация пиксельного шейдера состоит из следующих этапов:

– Переместить начало координат в центр экрана:

$float2 P.xy = q * (2.0 * TexCoord.xy - 1.0) * \tan(radians(FOV / 2))$. Переменная q является дополнительным параметром линейного масштабирования изображения. В переменной P хранятся координаты каждого пиксела изображения.

– Вычислить для каждой точки масштабирующий коэффициент:

$\text{float } m = (d - (P.x * P.x) / a)$. Переменная a служит параметром для задания необходимого вида параболы.

– Получить новые координаты uv для каждой точки:

$$uv.x = P.x / z + 0.5; \quad uv.y = P.y / z + 0.5.$$

3. Результаты обработки перспективных изображений эффектом проекции Панини

Эксперименты проводились в программе RenderMonkey 1.82, с использованием шейдерной модели 3.0. Использовалась тестовая трехмерная сцена (рис. 1).

Изменяя угол обзора FOV камеры, а также параметры a и q , были получены следующие результаты, представленные на рис. 2.

Для сравнения показаны исходные перспективные изображения.

4. Эффект проекции Панини как средство уменьшения перспективных искажений

Из полученных результатов видно, что перспективные искажения, которые увеличиваются с ростом угла обзора FOV , значительно уменьшены. Вся сцена немного приближена, а пространство сцены вблизи вогнуто к наблюдателю – результат создания двух боковых точек проекции – не влияет на общую интерпозицию объектов сцены. Этот эффект уменьшается по мере удаления объектов.

При перемещении камеры вида следует подчеркнуть гладкость создаваемого динамического изображения, отсутствие каких-либо резких переходов. Таким образом, поверхность параболического цилиндра, ввиду его оптических свойств, можно использовать для проецирования изображений проектора, что так же позволит уменьшить искажения при больших углах обзора.

Чем дальше от центра в картинной плоскости (вверх или вниз) расположены объекты,

тем сильнее проявляются искажения. Однако, в свою очередь, эти искажения показывают наблюдателю (оператору) на какую поверхность проецируется сцена, поскольку новые искажения отображены в плоскости полностью доступной для наблюдения. При необходимости (особенно вблизи), на основе этого, оператор имеет возможность, исходя из знания характера искажений, оценить исходную форму объектов.

Заключение

В данной работе представлена практическая реализация эффекта проекции Панини, как метод уменьшения перспективных искажений. Эффект был реализован в виде микропрограммы для графических ускорителей и, ввиду малых вычислений, может использоваться в системах визуализации реального времени без существенных вычислительных затрат. Большинство существующих систем визуализации имитационно-тренажерных комплексов военной техники ограничивают угол обзора оператора в пределах 60 градусов, а предложенный метод позволяет расширить его до 120 градусов с приемлемым качеством изображения. Модель также хорошо работает и с большими углами, однако, ввиду выбранного метода реализации, увеличивается зернистость изображения и ухудшается его качество.

Используя поверхность параболического цилиндра в качестве проекционной, для проекторов, также можно уменьшить перспективные искажения изображений с большим углом обзора.

Для повышения качества результирующего изображения дальнейшие исследования планируется проводить в плане улучшения метода реализации – получения и преобразования исходного изображения.

Литература

1. Качанов, П. А. Анализ восприятия пространства в проекции Панини и ее применение в компьютерной графике / П. А. Качанов, А. А. Зуев, К. Н. Яценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 4, № 2(76). – С. 36–43.
2. Bayarri, S. Computing Non-Planar Perspectives in Real Time / S. Bayarri // Computers & Graphics. – 1995. – Vol. 19, № 3. – P. 431–440.
3. Barr, A. H. Ray Tracing Deformed Surfaces / A. Barr // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1986. Vol. 20, № 4. – P. 287–296.
4. Bourke, P. Computer Generated Angular Fisheye Projections / P. Bourke // Home page [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: <http://paulbourke.net/dome/fisheye/>. – Date of access: 01.08.2015.
5. Yang, Y. Nonlinear Projection: Using Deformations in 3D Viewing / Y. Yang, J. Chen // IEEE Computing in Science and Engineering. – 2003. – Vol. 5, № 2. – P. 54–59.

6. **Carpendale, M. S. T.** Extending Distortion Viewing from 2D to 3D / M. S. T. Carpendale, D. J. Cowperthwaite, F. D. Fracchia // IEEE Computer Graphics & Applications. – 1997. – Vol. 17, № 4. – P. 42–51.
7. **Раушенбах, Б. В.** Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов. Приложения 1–9 / Б. В. Раушенбах. – М.: Наука, 1980. – 289 с.
8. **Sharpless, T. K.** Pannini: a new projection for rendering wide angle perspective images / T. K. Sharpless, B. Postle, D. M. German // In Proceedings of the Sixth international conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging. – 2010. – P. 9–16.
9. Projection Transform (Direct3D 9) // Programming Guide for Direct3D 9 [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/bb147302\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/bb147302(v=vs.85).aspx). – Date of access: 01.08.2015.

Поступила 25.08.15

После доработки 22.09.15

P. A. KACHANOV, A. A. ZUEV, K. N. YATSENKO

PANINI PROJECTION EFFECT AS MEANS OF REDUCING PERSPECTIVE DISTORTIONS

The method based on Panini projection to reduce perspective distortions of images with wide viewing angle is considered. The analysis of the features of construction of Panini projection is provided. A realization of the effect on the graphic accelerators as a result of post-processing is proposed. The results of using the described effect in computer graphics were obtained. A comparison of images in the perspective projection and Panini projection was carried out. It is shown that perspective projection of a three-dimensional scene onto the surface of a parabolic cylinder reduces distortions.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

А. В. СОКОЛОВ

ПРОЦЕССОРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛНЫХ КЛАССОВ ИЗОМОРФНЫХ И АВТОМОРФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛЕЙ $GF(512)$ И $GF(1024)$

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

В статье построены полные множества многоуровневых линейных рекуррентных последовательностей над всеми изоморфными и автоморфными представлениями полей Галуа $GF(512)$ и $GF(1024)$. Разработаны конструкции криптографически высококачественных S -блоков подстановки процессорно-ориентированных длин $N = \{512, 1024\}$. Мощности множеств S -блоков подстановки составляют соответственно $J_{GF(512)} = 1.104 \cdot 10^{18}$ и $J_{GF(1024)} = 1.01 \cdot 10^{19}$, что позволяет использовать их в качестве долговременного ключа для модернизации существующих блочных симметричных криптографических алгоритмов и при разработке новых.

Ключевые слова: МЛРП, поле Галуа, S -блок подстановки, автоморфизм, изоморфизм; *MLRP, Galois field, S-box, automorphism, isomorphism.*

Введение

Основным компонентом современных блочных симметричных криптографических алгоритмов является их нелинейное преобразование – S -блок подстановки, которое определяет их резистивность к атакам криптоанализа, а также быстродействие.

S -блок подстановки представляет собой правило отображения группы входных элементов x_i в группу выходных элементов y_i , которое однозначно определяется кодирующей Q -последовательностью задающей структуру S -блока подстановки. Построение высоконадежного, с криптографической точки зрения, S -блока подстановки требует построения определяющей его структуру Q -последовательности, которая соответствует базовым критериям криптографического качества, таким как: высокая нелинейность, отсутствие корреляционной связи между векторами выхода и входа, хороший лавинный эффект, периодические свойства [1].

Причем с ростом длины N Q -последовательностей существенно улучшается и криптографическое качество S -блоков подстановки на их основе, а соответственно растет и эффективность криптографических алгоритмов, использующих данные преобразования [2].

Рост длины Q -последовательностей также позволяет существенно увеличить количество доступных высококачественных, с криптографической точки зрения, структур Q -последовательностей, что открывает возможность их использования в качестве долговременного ключа.

Ясно, что задача поиска подходящих структур Q -последовательностей может решаться переборным путем, однако мощность множества всех существующих Q -последовательностей стремительно растет с ростом их длины N как факториальная величина $J = N!$. Данное обстоятельство делает актуальной задачу поиска регулярных правил синтеза больших множеств Q -последовательностей, обладающих хорошими криптографическими свойствами.

Одной из конструкций, решающей задачу синтеза оптимальных, с криптографической точки зрения, Q -последовательностей является конструкция К. Ниберга [3], основанная на расширенных полях Галуа и используемая в криптопреобразовании Rijndael/AES. Тем не менее, на основе правил, предложенных К. Нибергом, могут быть синтезированы лишь небольшие множества S -блоков подстановки, так

при $N = 256$ мощность множества оптимальных S -блоков подстановки составляет лишь $J = 30$ [4].

Концепция использования структур расширенных полей Галуа получила дальнейшее развитие в работе [5], где были предложены правила синтеза S -блоков подстановки длины $N = 256$ на основе Многоуровневых Линейных Рекуррентных Последовательностей (МЛРП) по правилу

$$Q = \{0 \mid \text{МЛРП}\}, \quad (1)$$

где $\mid$ – оператор горизонтальной конкатенации, а последовательности МЛРП генерируются над всеми изоморфными и автоморфными представлениями поля $GF(256)$.

Применение данного подхода позволило достигнуть высокого криптографического качества генерируемых S -блоков подстановки, а также большой мощности их полного множества, достигающей $J = 55296$, для которой также были предложены эффективные правила размножения [5].

Тем не менее задачи построения новых поколений симметричных блочных криптографических алгоритмов требуют улучшения криптографических свойств, применяемых в них S -блоков подстановки, а также дальнейшее наращивание доступных их объемов, что осуществимо путем увеличения длины Q -последовательности N . Таким образом, большой интерес представляет разработка S -блоков подстановки большей длины N , соответствующих базовым критериям криптографического качества.

Целью настоящей статьи является построение нелинейных преобразований на основе всех изоморфных и автоморфных представлений полей $GF(512)$ и $GF(1024)$.

1. Построение нелинейных преобразований над всеми изоморфными и автоморфными представлениями поля $GF(512)$

Рассмотрим исходное поле $GF(512)$, которое имеет свои следующие изоморфные представления

$$GF(q^k): GF(2^9) \Rightarrow GF(8^3).$$

Структура и свойства МЛРП, на основе которой может быть построен криптографически высококачественный S -блок подстановки определяются парой $[f(x), \theta]$ – первообразный полином, первообразный элемент.

В каждом из приведенных изоморфных представлений может быть построено свое множество первообразных полиномов, количество которых определяется как [6]

$$\left| f_q^k \right| = \varphi(q^k - 1) / k, \quad (2)$$

и, соответственно, первообразных элементов

$$\left| \theta_q^k \right| = \varphi(q^k - 1), \quad (3)$$

где $\varphi(\cdot)$ – фи-функция Эйлера.

На основе выражений (2), (3), несложно установить, что количество первообразных полиномов в изоморфном представлении $\left| f_2^9 \right| = 48$, в то время как расширение расширенного поля $GF(8^3)$ может быть построено на основе арифметик двух существующих над полем $GF(8)$ первообразных полиномов

$$\begin{cases} g_1(x) = x^3 + x^1 + 1; \\ g_2(x) = x^3 + x^2 + 1. \end{cases}$$

Таким образом, общее количество первообразных полиномов над полем $GF(8^3)$ определяется как $2 \cdot \left| f_8^3 \right| = 2 \cdot 144 = 288$. Общее число всех первообразных полиномов над всеми изоморфными представлениями поля $GF(512)$

$$\varepsilon_{GF(512)} = 48 + 288 = 336.$$

Очевидно, что в соответствии с (3) общее количество первообразных элементов, существующих над изоморфными представлениями поля $GF(512)$ определяется как $\left| \theta_2^9 \right| = \left| \theta_8^3 \right| = 432$.

Стало быть, общее число различных структур МЛРП, которые могут быть построены над всеми автоморфными и изоморфными представлениями поля $GF(512)$

$$\Psi_{GF(512)} = \varepsilon_{GF(512)} \cdot \left| \theta_2^9 \right| = 336 \cdot 432 = 145152. \quad (4)$$

Представим метод построения каждого S -блока подстановки из множества (4) в виде конкретных шагов.

Шаг 1. Построить расширенное поле $GF(q^k)$, используя заданный первообразный полином $g_i(x)$ и первообразный элемент $\theta = x$.

Шаг 2. Используя алгоритмы [7] выполнить построение полного множества из $\left| f_q^k \right|$ первообразных полиномов над полем $GF(q^k)$.

Шаг 3. В соответствии с требуемыми параметрами криптографического качества осуществить выбор первообразного полинома.

Шаг 4. Построить МЛРП в соответствии с формулой

000	001	008	040	00A	050	08A	044	02A	150	0A9	15C	0C9	056	0BA	1C4	01D	0E8	15E	0D9
0D6	0AE	164	109	06B	152	0B9	1DC	0DD	0F6	1AE	147	011	088	054	0AA	144	009	048	04A
05A	0DA	0CE	06E	17A	1F9	1F5	195	09F	0EC	17E	1D9	0F5	1B6	187	00F	078	1CA	06D	162
139	1EB	165	101	02B	158	0E9	156	099	0DC	0FE	1EE	14D	041	002	010	080	014	0A0	114
083	00C	060	10A	073	192	0A7	12C	143	031	188	077	1B2	1A7	10F	05B	0D2	08E	064	12A
173	1B1	1BF	1CF	045	022	110	0A3	10C	043	012	090	094	0B4	1B4	197	08F	06C	16A	179
1E1	135	18B	06F	172	1B9	1FF	1C5	015	0A8	154	089	05C	0EA	14E	059	0C2	00E	070	18A
067	132	1B3	1AF	14F	051	082	004	020	100	023	118	0E3	106	013	098	0D4	0BE	1E4	11D
0CB	046	03A	1D0	0BD	1FC	1DD	0D5	0B6	1A4	117	09B	0CC	07E	1FA	1ED	155	081	01C	0E0
11E	0D3	086	024	120	123	13B	1FB	1E5	115	08B	04C	06A	15A	0F9	1D6	08D	07C	1EA	16D
141	021	108	063	112	0B3	18C	057	0B2	184	017	0B8	1D4	09D	0FC	1FE	1CD	055	0A2	104
003	018	0C0	01E	0F0	19E	0C7	026	130	1A3	12F	15B	0F1	196	087	02C	160	129	16B	171
1A1	13F	1DB	0E5	136	193	0AF	16C	149	061	102	033	198	0F7	1A6	107	01B	0D8	0DE	0EE
16E	159	0E1	116	093	08C	074	1AA	167	111	0AB	14C	049	042	01A	0D0	09E	0E4	13E	1D3
0A5	13C	1C3	025	128	163	131	1AB	16F	151	0A1	11C	0C3	006	030	180	037	1B8	1F7	185
01F	0F8	1DE	0CD	076	1BA	1E7	105	00B	058	0CA	04E	07A	1DA	0ED	176	199	0FF	1E6	10D
04B	052	09A	0C4	03E	1F0	1BD	1DF	0C5	036	1B0	1B7	18F	04F	072	19A	0E7	126	113	0BB
1CC	05D	0E2	10E	053	092	084	034	1A0	137	19B	0EF	166	119	0EB	146	019	0C8	05E	0FA
1CE	04D	062	11A	0F3	186	007	038	1C0	03D	1E8	17D	1C1	035	1A8	177	191	0BF	1EC	15D
0C1	016	0B0	194	097	0AC	174	189	07F	1F2	1AD	15F	0D1	096	0A4	134	183	02F	178	1E9
175	181	03F	1F8	1FD	1D5	095	0BC	1F4	19D	0DF	0E6	12E	153	0B1	19C	0D7	0A6	124	103
03B	1D8	0FD	1F6	18D	05F	0F2	18E	047	032	190	0B7	1AC	157	091	09C	0F4	1BE	1C7	005
028	140	029	148	069	142	039	1C8	07D	1E2	12D	14B	071	182	027	138	1E3	125	10B	07B
1D2	0AD	17C	1C9	075	1A2	127	11B	0FB	1C6	00D	068	14A	079	1C2	02D	168	169	161	121
12B	17B	1F1	1B5	19F	0CF	066	13A	1F3	1A5	11F	0DB	0C6	02E	170	1A9	17F	1D1	0B5	1BC
1D7	085	03C	1E0	13D	1CB	065	122	133	1BB	1EF	145								

Рисунок

$$N_i = \sum_{v=1}^k \alpha_{k-v}^{(i)} q^{k-v}, \quad i = 0, q^k - 2,$$

где

$$\theta^i \bmod (f(x), q) = \alpha_{k-1}^{(i)} x^{k-1} + \alpha_{k-2}^{(i)} x^{k-2} + \dots + \alpha_0^{(i)} - i\text{-й элемент поля.}$$

Шаг 5. Сформировать Q -последовательность, определяющую структуру S -блока подстановки в соответствии с (1).

Например, выбрав изоморфное представление поля $GF(8^3)$, а также неприводимый над полем $GF(8)$ полином $g_1(x)$, а также неприводимый над полем $GF(8^3)$ полином $\xi(x) = x^3 + x + 2$, получаем соответственно S -блок подстановки, представленный в виде шестнадцатеричного кода своей Q -последовательности (рисунок).

Сведем в табл. 1 криптографические характеристики [8] построенных на основе поля $GF(512)$ S -блоков подстановки, где приняты следующие условные обозначения:

- $\max\{|r_{i,j}|\}$ – максимальный по абсолютной величине элемент матрицы коэффициентов корреляции;

- K^0 – количество нулей в матрице коэффициентов корреляции;

- N_s – расстояние нелинейности;
- $\min\{\deg(F_i)\}$ – наименьшая степень среди алгебраических степеней нелинейности компонентных булевых функций;

- T – период возврата S -блока подстановки в исходное состояние [9].

Результаты, представленные в табл. 1 демонстрируют высокое качество построенных над полем $GF(512)$ S -блоков подстановки.

2. Построение нелинейных преобразований над всеми изоморфными и автоморфными представлениями поля $GF(1024)$

Исходное расширенное поле $GF(1024) = GF(2^{10})$ может быть представлено в виде следующих своих изоморфных представлений

$$GF(q^k): GF(2^{10}) \Rightarrow GF(4^5) \Rightarrow GF(32^2).$$

Таким образом, в поле $GF(2^{10})$ существует $|f_2^{10}| = 60$ первообразных полиномов; в поле $GF(4^5)$ существует $|f_4^5| = 120$ первообразных полиномов; и в поле $GF(32^2)$ соответственно $|f_{32}^2| = 300$. С другой стороны, в последнем случае исходное расширенное поле $GF(32)$ также может иметь свои различные изоморфные представления в соответствии с выбранным первообразным полиномом $f(x)$, и соот-

Таблица 1

Поле	Количество первообразных полиномов	$\max\{ r_{i,j} \}$	K^0	N_s	$\min\{\deg(F_i)\}$	T
$GF(2^9)$	48	0.0625...0.1094	0...16	198...222	7...8	412...14429940
$GF(8^3)$	144, по модулю полинома $g_1(x)$	0.0625...0.1016	0...13	206...222	7...8	2...3540900
	144, по модулю полинома $g_2(x)$	0.0547...0.1016	0...10	202...222	7...8	3...2810109

ветственно, различные структуры таблиц умножения. Так, в поле $GF(32) = GF(2^5)$ существует 6 первообразных полиномов

$$\begin{cases} f_1(x) = x^5 + x^2 + 1; \\ f_2(x) = x^5 + x^3 + 1; \\ f_3(x) = x^5 + x^3 + x^2 + x^1 + 1; \\ f_4(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x^1 + 1; \\ f_5(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^1 + 1; \\ f_6(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1. \end{cases}$$

Следовательно, общее количество различных структур первообразных полиномов в поле $GF(32)$ определяется как $6 \cdot |f_{32}^2| = 1800$.

В соответствии с (2) количество первообразных элементов определяется как $|\theta_2^{10}| = |\theta_4^5| = |\theta_{32}^2| = 600$.

Общее множество первообразных полиномов во всех изоморфных представлениях поля $GF(1024)$ может быть найдено как сумма всех найденных выше первообразных полиномов по всех изоморфных представлениях данного поля

$$\varepsilon = |f_2^{10}| + |f_4^5| + 6|f_{32}^2| = 120 + 300 + 1800 = 2220.$$

Таким образом, общее количество различных структур МЛРП в поле $GF(1024)$ определяется как

$$\Psi_{GF(1024)} = \varepsilon |\theta_2^{10}| = 2220 \cdot 600 = 1332000.$$

В табл. 2 рассчитаны значения основных криптографических параметров построенных на основе поля $GF(1024)$ криптографических S -блоков подстановки.

Следовательно, данные табл. 2 демонстрируют наличие во всех изоморфных и автоморфных представлениях поля $GF(1024)$ существенного количества S -блоков подстанов-

ки, обладающих высоким уровнем криптографического качества.

3. Правила размножения нелинейных преобразований и обобщение результатов

Отметим, что для S -блоков подстановки построенных над всеми изоморфными и автоморфными представлениями поля $GF(1024)$ применимы правила размножения [5]:

- нулевой элемент может быть добавлен в Q -последовательность 1023 различными способами, при этом формируя различные структуры S -блоков подстановки;
- каждая Q -последовательность допускает перестановку своих компонентных булевых функций $10!$ различными способами;
- путем знаковых кодирований компонентных булевых функций 2^{10} различными способами;
- путем рассмотрения Q -последовательности как частотно-кодирующей последовательности (ЧКП), так и время-кодирующей последовательности (ВКП), что позволяет удвоить их количество [10].

Таким образом, общее количество построенных S -блоков подстановки над всеми изоморфными и автоморфными представлениями поля $GF(512)$ составляет

$$J_{GF(512)} = 145152 \cdot 1023 \cdot 10! \cdot 1024 \cdot 2 = 1.104 \cdot 10^{18},$$

в то время как для поля $GF(1024)$ этот показатель составляет

$$J_{GF(1024)} = 1332000 \cdot 1023 \cdot 10! \cdot 1024 \cdot 2 = 1.01 \cdot 10^{19},$$

что является достаточно существенной величиной. Так, при использовании S -блока подстановки длины $N = 1024$ в качестве элемента ключа, длина ключа достигнет ~ 64 бита.

На основе данных [5] может быть проведен сравнительный анализ (табл. 3) динамики основных показателей криптографического ка-

Таблица 2

Поле	Количество первообразных полиномов	$\max\{ r_{i,j} \}$	K^0	N_s	$\min\{\deg(F_i)\}$	T
1	2	3	4	5	6	7
$GF(2^{10})$	60	0.0469...0.0781	0...18	422...462	9	1010...539965270
$GF(4^5)$	120	0.0469...0.0781	0...12	422...462	8...9	2...339437110
$GF(32^2)$	300, по модулю полинома $f_1(x)$	0.043...0.0781	0...14	410...464	9	2...90350990
	300, по модулю полинома $f_2(x)$	0.043...0.0781	0...15	410...462	9	2...2081380170
	300, по модулю полинома $f_3(x)$	0.0351...0.0781	0...13	410...462	9	3...72116040
	300, по модулю полинома $f_4(x)$	0.0468...0.0781	0...15	410...466	9	3...1287763560
	300, по модулю полинома $f_5(x)$	0.0468...0.0781	0...16	410...462	9	2...28502469
	300, по модулю полинома $f_6(x)$	0.0429...0.0781	0...18	410...464	9	2...1205547720

Таблица 3

N	Объем J	Наилучшие показатели криптографического качества				
		$\max\{ r_{i,j} \}$	K^0	N_s	$\min\{\deg(F_i)\}$	T
256	$7.4518 \cdot 10^{16}$	0.0781	17	108	7	113050
512		0.0547	16	222	8	14429940
1024	$1.01 \cdot 10^{19}$	0.0351	18	466	9	2081380170

чества с увеличением длины S-блоков подстановки на основе всех изоморфных и автоморфных представлений полей $GF(256)$, $GF(512)$, $GF(1024)$.

Анализ данных табл. 3 показывает стремительный рост с увеличением длины N таких важнейших параметров криптографического качества как расстояние нелинейности N_s , алгебраическая степень нелинейности $\min\{\deg(F_i)\}$ и период возврата S-блока подстановки в исходное состояние. При этом умеренно падает корреляционная связь выхода и входа S-блока подстановки, что показывает, соответственно $\max\{|r_{i,j}|\}$. Таким образом, табл. 3 подтверждает эффективность использования метода построения S-блоков подстановки над всеми изоморфными и автоморфными представлениями полей Галуа при больших длинах $N = \{512, 1024\}$.

Заключение

- дальнейшее развитие получил метод синтеза процессорно-ориентированных S-блоков подстановки на основе МЛРП в рамках чего построены полные классы МЛРП над всеми изоморфными и автоморфными представлениями полей $GF(512)$ и $GF(1024)$, мощностей $\Psi_{GF(512)} = 145152$ и $\Psi_{GF(1024)} = 1332000$. При

этом классы высоконелинейных S-блоков подстановки на основе МЛРП имеют мощности $J_{GF(512)} = 1.104 \cdot 10^{18}$ и $J_{GF(1024)} = 1.01 \cdot 10^{19}$, что является существенными величинами с криптографической точки зрения;

- найденные криптографические свойства построенного класса S-блоков подстановки показали тотальное улучшение криптографического качества S-блоков подстановки на основе всех изоморфных и автоморфных представлений полей $GF(512)$ и $GF(1024)$ по отношению к S-блокам подстановки над полем $GF(256)$;

- полученная мощность класса криптографически качественных S-блоков подстановки позволяет рекомендовать их к использованию в качестве элементов ключа шифра, при этом необходимый прирост ключа для хранения номера выбранного S-блока подстановки составляет до 64 бит для длины $N = 1024$.

Отметим, что практический интерес представляет задача дальнейшего расширения ансамбля доступных длин оптимальных с точки зрения криптографического качества S-блоков подстановки, которые могут быть использованы для повышения эффективности существующих криптографических алгоритмов, а также для построения новых алгоритмов шифрования с большими длинами блока данных.

Литература

1. Горбенко, И. Д. Дослідження аналітичних і статистичних властивостей булевих функцій криптоалгоритму RIJNDAEL (FIPS 197) / И. Д. Горбенко, О. В. Потій, Ю. А. Избенко // Харків: Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник «Радіотехніка». – 2004. – Том 126. – С. 132–138.
2. Ростовцев А. Г. Большие подстановки для программных шифров / А. Г. Ростовцев // Проблемы инф. безопасности. Компьютерные системы. – СПб. – 2000. – № 3. – С. 31–34.
3. Nyberg, K. Differentially uniform mappings for cryptography. I Advances in cryptology / K. Nyberg // Proc. of EUROCRYPT'93. – Berlin, Heidelberg, New York. – 1994. – vol.765, Lecture Notes in Computer Science Springer-Verlag. – P. 55–65.
4. Мазурков, М. И. Алгебраические свойства криптографических таблиц замен шифра Rijndael и шифра ГОСТ 28147-89 / М. И. Мазурков, А. В. Соколов. – Одесса: Труды СИЭТ. – 2012. – С. 149.
5. Мазурков, М. И. Нелинейные преобразования на основе полных классов изоморфных и автоморфных представлений поля $GF(256)$ / М. И. Мазурков, А. В. Соколов // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2013. – Т. 56, N 11. – С. 16–24.
6. Берлекэмп, Э. Алгебраическая теория кодирования / Э. Берлекэмп. – М: МИР, 1971. – 477 с.
7. Мазурков М. И. Семейства линейных рекуррентных последовательностей на основе полных множеств изоморфных полей Галуа / Мазурков М. И., Конопака Е. А // Радиоэлектроника. — 2005. — № 11. — С. 58–65. (Изв. вузов).
8. Соколов, А. В. Новые методы синтеза нелинейных преобразований современных шифров / А. В. Соколов. – Lap Lambert Academic Publishing, Germany 2015. – 100 с.

9. Зайко, Ю. Н. Криптография глазами физика // Изв. Саратовского ун-та. – Т. 9 вып. 2. – С. 34–48. – 2009.
10. Мазурков, М. И. Системы широкополосной радиосвязи / М. И. Мазурков – Одесса: Наука и Техника, 2010. – с. 340. – ISBN 978-966-8335-95-2.

Поступила 10.07.15

A. V. Sokolov

**PROCESSOR-ORIENTED NONLINEAR TRANSFORM BASED ON THE FULL
CLASSES OF ISOMORPHIC AND AUTOMORPHIC REPRESENTATIONS
OF GALOIS FIELDS GF(512) AND GF(1024)**

The full sets of multilevel linear recurring sequences over all isomorphic and automorphic representations of Galois fields GF(512) and GF(1024) are built. Constructions of cryptographically high quality S-box of processor-oriented lengths $N = \{512, 1024\}$ are developed. The cardinality of sets of S-boxes are $J_{GF(512)} = 1.104 \cdot 10^{18}$ and $J_{GF(1024)} = 1.01 \cdot 10^{19}$ which allows to use them as a long-term key to upgrade existing block of symmetric cryptographic algorithms and for development of new ones.

Уважаемые авторы,

Общими критериями для публикации статей в журнале являются *актуальность, новизна материала и его ценность в теоретическом и/или прикладном аспектах*.

С целью приведения элементов данных, содержащихся в журнале, в соответствие международным требованиям зарубежных аналитических информационных систем (индексов цитирования), используемых для оценки деятельности учреждений образования при расчете показателей в международных рейтингах университетов, редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции приближения к унифицированной системе цитирования научных публикаций SCOPUS,

С 2016 г. Редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции.

Правила для авторов

1. Общие требования

Материалы статей представляются на бумажном носителе (в двух экз.) по адресу: 220013, Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, корп. 20, каб. 508 (Петренко Юрий Николаевич) и в электронном виде e-mail: CA_PI@bntu.by. Телефон для справок: (017) 266 26 58.

Статья, представляемая на бумажном носителе, должна быть подписана всеми авторами. К статье прилагаются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество полностью, почтовый адрес, телефоны, адрес электронной почты, место работы, ученая степень и звание, должность. При наличии нескольких авторов должен быть указан автор, ответственный за переписку.

Статьи, поступившие в редакцию журнала, регистрируются в установленном порядке. Статьи, оформленные с нарушением приведенных правил, к рассмотрению редакцией не принимаются. Принятые статьи рецензируются.

При положительной рецензии статья предлагается к опубликованию.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других журналах или научных изданиях.

Гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается. Материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются.

2. Правила оформления статей

2.1 Объем статей (с иллюстрациями) не должен превышать:

- для оригинальной статьи – 7 страниц (не более 8 иллюстраций);
- для краткого сообщения – 3 страницы (не более 2 иллюстраций).

Статья должна быть набрана с помощью текстового редактора Microsoft Word 2007.

Параметры страницы: формат А4 (высота 29,7 см., ширина – 21 см.); отступ для левого поля и поля сверху – 25 мм, правого и нижнего – 20 мм; нумерация страниц сверху в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю.

Текст набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт. Межстрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 12 мм.

2.2 Индекс УДК набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по правому краю.

2.3. Название статьи набирается шрифтом Arial, 12 пт, жирный, все прописные, выравнивание – по центру.

2.4. Фамилия и инициалы автора (авторов) в именительном падеже, должность, ученая степень и ученое звание печатаются шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, курсив, выравнивание – по левому краю.

2.5. Полное название организации (организаций), в которой работает (учится) автор (авторы) набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, выравнивается по центру, После названия организации пропускается две строки, далее следует адрес (адреса) электронной почты, пропускается две строки

2.6. Аннотация и ключевые слова (объем 200–250 слов на русском (англ.) языке статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, 10 пт, межстрочный интервал 1,15 pt, курсив, выравнивается по центру. Аннотация должна содержать (рекомендованная структура): цель и задачи работы, методы исследований, результаты, выводы. Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

После аннотации пропускается одна строка.

2.7. Текст статьи (набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, с абзацем, выравнивание – по ширине) должен содержать следующие элементы:

1) введение (может содержать: краткий обзор литературы по проблеме исследования, перечисление нерешенных ранее вопросов, постановку проблемы, цель исследований). Слово «Введение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2) основная часть исследования (возможно деление на подразделы), включающая графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), при этом таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга. Название каждого подраздела статьи печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

3) Заключение (формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ по сравнению с аналогами). Слово «Заключение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2.8. Литература. Список литературы оформляется шрифтом TimesNewRoman, 12 пт в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением президиума Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь 24.12.1997 № 178 (в редакции постановления ВАК Беларуси от 22.02.2006 № 2). www.edu.grsu.by/files/liter.doc.

Слово «Литература» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по левому краю.

Источники должны располагаться в порядке цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок в тексте должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В статьях на русском языке должно быть до 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. В англоязычных статьях должно быть до 30 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. Обзорные статьи должны включать до 50 ссылок, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

Список источников должен оформляться на русском и английском языках.

С целью повышения цитирования авторов в журнале проводится транслитерация русскоязычных источников с использованием официальных кодировок в следующем порядке: имена авторов транслитерируются латиницей, название статьи — смысловой транслитерацией (перевод на английский язык), название источника, где опубликована работа, транслитерируется латиницей, если у источника (журнала) нет официального названия на английском языке).

Для удобства транслитерации возможно использование онлайн-сервисов: <http://www.translit.ru>.

Все русскоязычные источники литературы должны быть представлены в транслитерированном варианте. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы). В списке должны иметь место ссылки на издания, включенные в международные базы цитирования Scopus и Web of Science).

2.9. После списка литературы на русском и английском языках в статье на русском (англ.) языке должно следовать название статьи, список авторов, сведения о них и аннотация на английском (русском) языке.

Далее указывается: грант, гос. программа, тема госбюджетной НИР (№ Гос. регистрации) или иной документ, в рамках которой выполнена работа (или инициативная).

2.10. Резюме авторов (шрифтом TimesNewRoman, 10 пт.,) сопровождается фотографией.

2.11. Оформление формул. Только сложные формулы должны быть набраны с помощью встроенного в MS Word редактора формул Equation. Просто буквы с индексами могут быть набраны без использования формульного редактора с помощью средств оформления MS Word. Латинские символы должны быть набраны курсивом, как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – обычным текстом.

В редакторе формул должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 17 пт., мелкий символ – 12 пт. Формулы выравниваются по центру страницы. При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания. Номера формул выравниваются по правому краю страницы.

БНТУ – Флагману высшего технического образования – 95 лет!



10 декабря 2015 года ведущий технический ВУЗ страны – Белорусский национальный технический университет – празднует свое 95-летие. За этот долгий путь БНТУ прошел от статуса политехнического техникума до уважаемого университета, занимающего лидирующие позиции в международных рейтингах высших учебных заведений.

Сегодня БНТУ – университет, обладающий развитой инфраструктурой, которая отвечает всем современным международным стандартам. В состав БНТУ входят:

- 17 факультетов,
- Международный институт дистанционного образования,
- Институт интегрированных форм обучения и мониторинга образования,
- Филиал БНТУ в г. Солигорске,
- Инженерно-технический факультет БНТУ на базе Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими,
- 7 центров и институтов переподготовки кадров и повышения квалификации специалистов,
- Научно-исследовательская часть,
- Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,
- Опытный завод «Политехник»,
- Белорусско-Китайский Технопарк,
- Лицей БНТУ,
- 8 колледжей,
- Первый и единственный в мире Институт Конфуция по науке и технике, одной из задач которого является подготовка специалистов для белорусско-китайского индустриального парка «Великий камень»,
- Центры международного научно-технического сотрудничества с Россией, Китаем, Казахстаном, Украиной, Кореей, Сирией, Латвией, Венесуэлой, Вьетнамом,
- 74 филиала кафедр на крупнейших предприятиях и в научно-исследовательских учреждениях республики.

Почти вековую историю БНТУ выпустил **более 180 000 высококлассных специалистов** инженерно-технического профиля. Выпускники университета востребованы практически во всех отраслях реального сектора экономики Беларуси – в строительстве, архитектуре, автомобиле – и тракторостроении, энергетике (в том числе атомной), металлургии и других сферах.

Ежегодно в БНТУ, его филиалах и колледжах обучается более 35 000 студентов, учащихся магистрантов, аспирантов и докторантов. На 2015 год студенты БНТУ обучаются по 134 специальностям, аспиранты – по 54, докторанты – по 34. При университете создано 14 советов по защите диссертаций.

Учеба в Белорусском национальном техническом университете не ограничивается лишь занятиями по выбранным специальностям. У студентов БНТУ есть реальная возможность значительно расширить свой образовательный, научный и практический опыт, участвуя в программах по обмену студентами с более чем 70 университетами в 30 стра-



нах мира. Выпускникам предоставляется возможность обучения в магистратуре в университетах Италии, Франции, Польши, Чехии и других европейских стран за счет средств бюджета и международных проектов.

БНТУ – это не только качественное техническое образование. К услугам студентов – собственная автошкола, санаторий-профилакторий на берегу Минского моря, научная библиотека, студенческий городок. В 2015 году сдан в эксплуатацию спортивно-оздоровительный комплекс, который включает бассейн, шесть тренажерных и пять игровых залов, три зала аэробики, три борцовских зала, залы гимнастики, тяжелой атлетики и бокса.

Студенты БНТУ имеют возможность получить второе высшее образование, в том числе и военное по программам офицера-запаса на военно-техническом факультете.

БНТУ имеет заслуженную высокую репутацию не только в Беларуси, но и за рубежом. Университет сотрудничает со 114 зарубежными техническими учебными заведениями из 34 стран мира. Каждый год в БНТУ обучается более 1 500 иностранных студентов. В 2012–2015 гг. в БНТУ прошло четыре Форума вузов Союзного государства инженерно-технологического профиля под патронатом Государственного секретаря Союзного государства Г. А. Рапоты.

В международных рейтингах среди вузов Беларуси БНТУ занимает одну из лидирующих позиций. В самом престижном мировом рейтинге QS БНТУ вошел в число 700+ лучших университетов мира и занимает второе место в стране после БГУ. В рейтинге «Webometrics» среди всех белорусских учреждений высшего образования БНТУ занимает второе место.

Уже несколько лет подряд БНТУ эффективно совмещает образовательную и научную деятельность, успешно привлекая финансы в бюджет университета. Только за последние два года ежегодный объем выполненных всеми подразделениями БНТУ научных исследований и разработок составил более 150 млрд руб.

В рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. БНТУ участвует в реализации 10 инновационных проектов по созданию новых и модернизации действующих предприятий и производств, из которых более половины уже выведены на проектную мощность.

Главная гордость БНТУ – его выпускники, которые востребованы в Беларуси и за ее пределами. Специалисты БНТУ работают во всемирно известных компаниях – Warg-

ming, EPAM Systems, Яндекс, Hewlett-Packard, Motorola, Nokia, Nike, Kaspersky Lab, Intel, Samsung, Scania и многих других.

Среди выпускников и студентов БНТУ – государственные деятели, известные ученые, дипломаты, руководители Министерств, ведомств, крупных предприятий:

- **Леонид Анфимов** – председатель Комитета государственного контроля Республики Беларусь,
- **Владимир Семашко** – заместитель премьер-министра Республики Беларусь,
- **Юрий Чиж** – генеральный директор ООО «Трайпл»,
- **Петр Витязь** – академик, руководитель аппарата НАН Беларуси,
- **Жорес Алферов** – Лауреат Нобелевской премии,
- **Павел Мариев** – Герой Беларуси, доктор технических наук
- и многие другие.

За значительные достижения в работе БНТУ награжден рядом высоких государственных наград, в том числе:

- Орденом Трудового Красного Знамени,
- Юбилейным Почетным Знаком,
- Почетным государственным знаменем Республики Беларусь.

От всей души поздравляем трудовой коллектив и всех выпускников с Юбилеем.