

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12(220)
2014

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ

Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Антонов А. В., Сальников Н. Л., Хромова М. О., Чепурко В. А. Обоснование метода ядерного оценивания параметра потока отказов восстанавливаемых технических систем 3
- Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Интегральная OLAP-модель предметной области для аналитической поддержки принятия решений 8

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

- Светушков Н. Н. Метод струн в задачах многомерной нестационарной теплопроводности 14
- Матвеев М. Г., Сирота Е. А. Разработка и исследование статистических моделей нестационарного многомерного временного ряда атмосферных температур в условиях неоднородности 20

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

- Асратян Р. Э. Организация распределенной обработки информационных запросов в мультисерверной сетевой среде 25

WEB-ТЕХНОЛОГИИ

- Шокин Ю. И., Веснин А. Ю., Добрынин А. А., Клименко О. А., Рычкова Е. В. Анализ веб-пространства академических сообществ методами вебометрики и теории графов 31

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

- Булакина М. Б., Иванников А. Д. Федеральный портал "Российское образование" как средство агрегации образовательных информационных ресурсов 41

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Мальцев А. В. Технология формирования детальной текстуры земной поверхности для космических тренажерных комплексов 48
- Тимохин П. Ю., Торгашев М. А. Визуализация космических сцен в расширенном диапазоне в режиме реального времени 53

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Игнатович В. К., Саламатин И. М., Саламатин К. М., Сеннер А. Е. Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов с использованием сетевых технологий 61
- Боровский А. С. Метод определения оптимального уровня возможностей средств инженерно-технической защиты на объекте в задачах проектирования систем физической защиты 67

- Указатель статей, опубликованных в журнале "Информационные технологии" в 2014 году 76
- Указатель приложений к журналу "Информационные технологии" в 2014 году 80

Главный редактор:

СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.,
акад. РАН, д. т. н., проф.

Зам. главного редактора:

ИВАННИКОВ А. Д., д. т. н., проф.
ФИЛИМОНОВ Н. Б., д. т. н., с.н.с.

Редакционный совет:

БЫЧКОВ И. В., акад. РАН, д. т. н.
ЖУРАВЛЕВ Ю. И.,

акад. РАН, д. ф.-м. н., проф.

КУЛЕШОВ А. П.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

ПОПКОВ Ю. С.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

РУСАКОВ С. Г.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

СОЙФЕР В. А.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

СОКОЛОВ И. А., акад.

РАН, д. т. н., проф.

СУЕТИН Н. В., д. ф.-м. н., проф.

ЧАПЛЫГИН Ю. А.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

ШАХНОВ В. А.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

ШОКИН Ю. И.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

ЮСУПОВ Р. М.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

Редакционная коллегия:

АВДОШИН С. М., к. т. н., доц.

АНТОНОВ Б. И.

БАРСКИЙ А. Б., д. т. н., проф.

ВАСЕНИН В.А., д. ф.-м. н., проф.

ГАЛУШКИН А.И., д. т. н., проф.

ДИМИТРИЕНКО Ю. И., д. ф.-м. н., проф.

ДОМРАЧЕВ В.Г., д. т. н., проф.

ЗАГИДУЛЛИН Р. Ш., к. т. н., доц.

ЗАРУБИН В. С., д. т. н., проф.

ИСАЕНКО Р. О., к. т. н., с.н.с.

КАРПЕНКО А. П., д. ф.-м. н., проф.

КОЛИН К. К., д. т. н., проф.

КУЛАГИН В. П., д. т. н., проф.

КУРЕЙЧИК В. М., д. т. н., проф.

КУХАРЕНКО Б. Г., к. ф.-м. н., доц.

ЛЬВОВИЧ Я. Е., д. т. н., проф.

МИХАЙЛОВ Б. М., д. т. н., проф.

НЕЧАЕВ В. В., к. т. н., проф.

РЯБОВ Г. Г., чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

СОКОЛОВ Б. В., д. т. н., проф.

УСКОВ В. Л., к. т. н. (США)

ФОМИЧЕВ В. А., д. т. н., проф.

ЧЕРМОШЕНЦЕВ С. Ф., д. т. н., проф.

ШИЛОВ В. В., к. т. н., доц.

Редакция:

БЕЗМЕНОВА М. Ю.

ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.

ЛЫСЕНКО А. В.

ЧУГУНОВА А. В.

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу <http://novtex.ru/IT>.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

CONTENTS

INTELLIGENT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

- Antonov A. V., Salnikov N. L., Khromova M. O., Chepurko V. A.** Justification of Kernel Estimation of the Failure Intensity of Restoies Technical Systems 3
Korobko A. V., Penkova T. G. The Integral OLAP-Model of the Domain for Analytical Decision Making Support 8

MODELING AND OPTIMIZATION

- Svetushkov N. N.** The Strings Method in Multidimetsnsonal Unsteady Heat Conduction Problems 14
Marveev M. G., Sirota E. A. Development and Research of Statistical Models of Unsteady Multidimensional Time Series of Atmospheric Temperature Conditions Heterogeneity 20

COMPUTING SYSTEMS AND NETWORKS

- Asratian R. E.** Distributed Processing of Data Queries in Multi-Server Network Environment 25

WEB-TECHNOLOGIES

- Shokin Yu. I., Vesnin A. Yu., Dobrynin A. A., Klimenko O. A., Rychkova E. V.** Analysis of a Web-Space of Academic Communities by Method of Webometrics and Graph Theory. 31

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

- Bulakina M. B., Ivannikov A. D.** Federal Portal "All-Russian Education" as a Mean for Educational Information Resources Aggregation 41

GEOINFORMATION SYSTEMS

- Mallsev A. V.** The Formation Technology of Earth's Detailed Surface Texture for Space Training Complexes 48
Timokhin P. Yu., Torgashev M. A. Real-Time Visualization of Space Scenes in High Dynamic Range 53

APPLIED INFORMATION TECHNOLOGIES

- Ignatovich V. K., Salamatin I. M., Salamatin K. M., Senner A. E.** Automation of Experiments in the Field of Neutron Spectrometry Using Network Technologies 61
Borovsky A. S. The Method of Determining the Optimal Level of Capabilities Engineering Protection on the Object in the Task of Designing Physical Protection Systems 67
Index of articles published in the journal "Information Technology" in 2014 76
Index of application published in the journal "Information Technology" in 2014 80

Editor-in-Chief:

Stempkovsky A. L., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Deputy Editor-in-Chief:

Ivannikov A. D., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Filimonov N. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Chairman:

Bychkov I. V., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zhuravljov Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kuleshov A. P., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Popkov Yu. S., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Rusakov S. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Soifer V. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov I. A., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Suetin N. V.,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Chaplygin Yu. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shakhnov V. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shokin Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Yusupov R. M., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Editorial Board Members:

Avdoshin S. M., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Antonov B. I.
Barsky A. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Vasenin V. A., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Galushkin A. I., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Dimitrienko Yu. I., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Domrachev V. G., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zagidullin R. Sh., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Zarubin V. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Isaenko R. O., Cand. Sci. (Tech.)
Karpenko A. P., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kolin K. K., Dr. Sci. (Tech.)
Kulagin V. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kurechik V. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kukhareenko B. G., Cand. Sci. (Phys.-Math.)
Ljvovich Ya. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Mikhailov B. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Nechaev V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Ryabov G. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov B. V., Dr. Sci. (Tech.)
Uskov V. L. (USA), Dr. Sci. (Tech.)
Fomichev V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Chermoshentsev S. F., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shilov V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.

Editors:

Bezmenova M. Yu.
Grigorin-Ryabova E. V.
Lysenko A. V.
Chugunova A. V.

Complete Internet version of the journal at site: <http://novtex.ru/IT>.

According to the decision of the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education of Russian Federation, the journal is inscribed in "The List of the Leading Scientific Journals and Editions wherein Main Scientific Results of Theses for Doctor's or Candidate's Degrees Should Be Published"

УДК 519.24 + 519.25

А. В. Антонов, д-р техн. наук, проф., декан, **Н. Л. Сальников**, д-р техн. наук, проф.,
М. О. Хромова, аспирант, **В. А. Чепурко**, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: v.a.chepurko@mail.ru
Обнинский институт атомной энергетики (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Обоснование метода ядерного оценивания параметра потока отказов восстанавливаемых технических систем

Статья посвящена обоснованию непараметрического метода оценивания параметра потока отказов восстанавливаемых технических систем. Предложенная оценка может быть использована в ситуации, когда входная информация представлена в виде потока отказов. Ранее, в работе [1], авторами выводится ядерная оценка параметра потока отказов и приводятся некоторые результаты по ее верификации. Настоящая статья посвящена исследованию асимптотической несмещенности предложенной оценки.

Ключевые слова: уравнение восстановления, функция восстановления, параметр потока отказов, ядерная оценка, параметр сглаживания

Введение

Как известно, в сложных технических объектах (системах), рассчитанных на длительный срок службы, как правило, предусматривается возможность ремонта. После отказа такой системы переход системы из неработоспособного (предельного) состояния в работоспособное осуществляется с помощью операций восстановления или ремонта. Обычно предполагается, что данная операция полностью восстанавливает систему, т. е. приводит ее к состоянию, присущему ей на начало функционирования. При этом, чаще всего по математическому допущению, предполагается, что восстановление системы происходит мгновенно. И в этом случае под потоком отказов понимается бесконечная последовательность моментов отказов, являющихся, по сути, и моментами восстановления. Вероятностной моделью, описывающей поведение такого рода систем, являются случайные процессы восстановления. Основные характеристики этих процессов — функция восстановления (ФВ) и параметр (интенсивность) потока отказов (ППО). Они полностью описывают различные вероятностные свойства процессов восстановления.

Используя известные в теории надежности уравнения, можно с помощью интегральных уравнений восстановления по известным распределениям наработки до отказа такой системы получить ФВ или ППО. Но, что более важно, имея информацию о потоке отказов и построив качественную оценку ФВ, можно достаточно точно с помощью того же уравнения восстановления найти распределение

наработки до отказа. Знание этого закона позволит оценить важные ресурсные показатели надежности. Именно эта идея извлечения информации о распределении наработки до отказа по потоку отказов и была заложена в основу ядерной оценки ППО в работе [1]. Эта оценка строится в той ситуации, когда необходимая информация о распределении наработки, казалось бы, потеряна, "восстановить" ее не представляется возможным и остается использовать лишь грубые оценки некоторых числовых характеристик.

Насколько известно авторам, в такой постановке (при такого рода входной информации) задача оценивания ППО или ФВ не рассматривалась. Современные статистические методы [2–4] и стандарты [5, 6] направлены на получение и исследование качественных оценок ФВ по известным полным наработкам до отказа. К сожалению, практика обработки статистической информации об отказах восстанавливаемых систем показывает, что полные наработки чаще всего уже извлечь невозможно. Раньше в так называемых журналах дефектов фиксировались информация о моменте отказа технической системы и ее тип. То есть в лучшем случае можно построить поток отказов такой системы, получить сами наработки нельзя. Следовательно, применение методов из работ [2–4] не представляется возможным.

В статье продолжено исследование непараметрического метода оценивания показателей надежности восстанавливаемых технических систем. Ранее, в работе [1], авторами для оценивания ППО была предложена ядерная оценка, позволяющая учи-

тивать как известные моменты отказов, так и отказы, распределенные по интервалам работоспособности (группированные моменты потока отказов). Такая оценка позволяет через уравнение восстановления определять и остальные показатели надежности восстанавливаемых объектов. Целью данной статьи является исследование предложенных оценок на предмет их несмещенности и построение новых оценок, учитывающих данные смешанного типа.

Функция восстановления и параметр потока отказов

Приведем некоторые основные сведения об исследуемых характеристиках надежности. Более полно это изложено в предыдущей работе [1], а также, к примеру, в классической монографии [7].

Для восстанавливаемых объектов, как известно, применяются два основных показателя надежности: функция восстановления и параметр потока отказов. Как и ранее, будем предполагать, что восстановление происходит мгновенно, в этом случае момент восстановления будет совпадать с моментом отказа, и поэтому в нижеследующих терминах понятия "отказ" и "восстановление" будут взаимозаменяемы. Пусть $r(t)$ — число отказов (или восстановлений) к моменту времени t . *Функцией восстановления (ФВ)* $\Omega(t)$ называется среднее число (математическое ожидание числа) восстановлений к моменту времени t : $\Omega(t) = Mr(t)$. ФВ связана с функциями распределения моментов восстановлений следующим уравнением:

$$\Omega(t) = \sum_{i=1}^{\infty} F_{\tau_i}(t), \quad (1)$$

где $F_{\tau_i}(t)$ — функция распределения случайной величины τ_i — i -го момента восстановления.

Параметром потока отказов называется производная функции восстановления

$$\omega(t) = \Omega'(t) = \sum_{i=1}^{\infty} f_{\tau_i}(t), \quad (2)$$

$f_{\tau_i}(t)$ — плотность распределения случайной величины τ_i — i -го момента восстановления.

Легко показать (см. [8]), что ППО — $\omega(t)$ и плотность распределения $f_{\xi}(t)$ наработки до отказа ξ — связаны следующим интегральным уравнением:

$$f_{\xi}(t) = \omega(t) - \int_0^t \omega(t - \tau) f_{\xi}(\tau) d\tau. \quad (3)$$

ФВ и функция распределения наработки между отказами связаны уравнением

$$F_{\xi}(t) = \Omega(t) - \int_0^t \Omega(t - \tau) dF_{\xi}(\tau). \quad (4)$$

Решение интегральных уравнений (3), (4) позволяет по известному ППО (или ФВ) оценивать плотность распределения или функцию распреде-

ления наработки между отказами. По известной плотности распределения можно определить такие показатели надежности объекта, как средний ресурс и срок службы, гамма-процентный ресурс и срок службы и т. д. (см. [5–7]). Другими словами, плотность распределения наработки между отказами является важнейшей характеристикой, необходимой для расчета основных показателей надежности.

В случае если поток формируют отказы m однотипных объектов, т. е. идентичные объекты эксплуатируются в одинаковых условиях, ФВ, а следовательно, и ППО будут обладать свойством сложения потоков:

$$\Omega_m(t) = m\Omega(t), \quad \omega_m(t) = m\omega(t), \quad (5)$$

где $\Omega(t)$ — ФВ потока произвольного из m объектов, а $\Omega_m(t)$ — ФВ потока m объектов; $\omega(t)$ — ППО произвольного из m объектов, а $\omega_m(t)$ — ППО m объектов.

Единственным способом оценивания неизвестного распределения наработки между отказами в этом случае будет оценка функций $\Omega_m(t)$, $\omega_m(t)$, затем (с использованием формул (5)) функций $\Omega(t)$, $\omega(t)$ и решение уравнений (3), (4). Далее рассмотрим возможные способы представления статистики об отказах восстанавливаемых объектов.

Виды исходной информации

Поступающие статистические данные об отказах восстанавливаемых объектов могут быть представлены в следующем виде.

I. Известны моменты отказов для каждого из однотипных объектов, т. е. $\tau_{1,1}, \tau_{1,2}, \dots, \tau_{1,n_1}$ — моменты отказов 1-го объекта; $\tau_{2,1}, \tau_{2,2}, \dots, \tau_{2,n_2}$ — моменты отказов 2-го объекта и т. д. В этом случае можно получить значение каждой наработки между отказами простым вычитанием из данного момента отказа предыдущего: $\tau_{i,j+1} - \tau_{i,j}$. Дальнейшая статистическая обработка будет вполне очевидна. Для анализа распределения наработки могут быть применены классические статистические процедуры, например, построение эмпирической функции распределения, гистограммы, ядерной оценки плотности. Остальные показатели надежности будут вычисляться по полученной оценке плотности распределения наработки между отказами.

II. Известны моменты отказов не для каждого конкретного объекта, а для совокупности однотипных объектов, при этом известно число таких объектов. То есть по каким-либо причинам потеряна информация о том, какой именно объект отказал в данный момент времени, и статистика представляет собой упорядоченный массив известных моментов отказов — $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$. В данной ситуации получить наработку между отказами не представляется возможным. Статистическая обработка такой информации будет в первую очередь связана с качественной оценкой характеристик потока отказов, к которым относятся ППО и ФВ.

III. Известно число отказов однотипных элементов в течение заданного промежутка времени (к примеру, года эксплуатации) и число элементов в составе устройства. При этом наработки между отказами неизвестны. Назовем такого рода информацию, когда данные представлены в виде частот отказов v_1, v_2, \dots, v_n , группированным потоком отказов, или отказами, распределенными по интервалам работоспособности.

IV. Наряду с вышеизложенными способами представления информации возможна ситуация, когда часть данных имеет, к примеру, вид группированного потока отказов (вид III), а другие данные представлены известными моментами отказов (вид II или I). С этим как раз столкнулись авторы данной работы. В течение ряда лет, обрабатывая группированные потоки отказов, в качестве пожелания и возможных рекомендаций по улучшению качества оценивания они предлагали перейти к более подробному описанию случившихся отказов. В этой работе предложена оценка ППО при наличии данных смешанного типа (II—III).

Во всех указанных случаях известно число однотипных объектов в составе системы и известно время наблюдения за объектами T . С одной стороны, очевидно, что от первого способа описания исходных данных ко второму и от второго к третьему представление данных существенно упрощалось. С другой стороны, что более важно, происходила ощутимая потеря информации. Из имеющейся статистики во втором и третьем случаях уже не представляется возможным извлечь сами наработки между отказами. Следовательно, казалось бы, невозможно оценить функцию распределения наработки. Однако ввиду того что плотность распределения наработки и ППО, функция распределения и ФВ связаны известными интегральными уравнениями восстановления (3), (4), то при качественной оценке характеристик потока можно затем через интегральное уравнение попытаться "восстановить" распределение наработки. С учетом такой возможности и построена ядерная оценка ППО (см. [1]).

Ядерная оценка ППО. Основные свойства

Ядерные оценки плотности предложены в 1948 г. Парzenом и Розенблатом [11, 12]. Идея построения оценок основана на законе больших чисел, из которого следует, что среднее арифметическое последовательности N случайных величин с ростом N в том или ином смысле сходится к математическому ожиданию.

Эта же идея использовалась при построении ядерной оценки ППО. Приведем ее окончательный вид при наличии данных II типа:

$$\hat{\omega}(t, \sigma) = \hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma) + \varepsilon(t, \sigma), \quad (6)$$

где

$$\hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma) = \sum_{i=1}^p \frac{1}{\sqrt{2\pi i m} \sigma} \exp\left(-m \left(\frac{t - \tau_i}{\sigma \sqrt{2i}}\right)^2\right), \quad (7)$$

$$\varepsilon(t, \sigma) \approx \frac{p}{2m\tau_p} \operatorname{erfc}\left(\frac{\tau_p - t}{\sqrt{2} p \sigma} \sqrt{m}\right) + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi m m \tau_p}} \frac{p \sqrt{p}}{\tau_p + t} e^{-\frac{m(\tau_p - t)^2}{2p\sigma^2}}, \quad (8)$$

$$\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} e^{-u^2} du.$$

В выражениях (6)—(8) $\hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma)$ — оценка ППО по полным данным; t — момент времени; $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$ — это упорядоченные в возрастающем порядке моменты отказов, p — их число; m — число однотипных объектов, формирующих совокупный поток отказов; σ — некоторый положительный параметр сглаживания, от которого в основном зависит качество получаемой оценки.

Теперь предположим, что у нас имеется группированный поток отказов: $LR = [(l_1, r_1); (l_2, r_2); \dots; (l_s, r_s)]$ — массив интервалов, на которых произошло $v = (v_1, v_2, \dots, v_s)$ — случайное число отказов (т. е. данные III типа). Обычно l_j и r_j совпадают с началом и (соответственно) окончанием календарного года. Очевидно, что $l_{j+1} = r_j$.

Аналогом ядерной оценки ППО будет:

$$\hat{\omega}(t, \sigma) = \hat{\omega}_{\Gamma}(t, \sigma) + \varepsilon(t, \sigma); \quad (9)$$

$$\hat{\omega}_{\Gamma}(t) = \sum_{i=1}^s \frac{v_i}{m(r_i - l_i)} \left[G\left(\frac{t - l_i}{h_1(i)}\right) - G\left(\frac{t - r_i}{h_1(i)}\right) \right], \quad (10)$$

где $\hat{\omega}_{\Gamma}(t, \sigma)$ — оценка ППО по группированным данным; $\varepsilon(t, \sigma)$ — систематическая ошибка, определяемая выражением (8), в котором $p = v_1 + \dots + v_s$ — общее число группированных отказов; $\tau_p = r_s$ — момент последнего отказа. Кроме этого, $G(x) =$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \text{ и } h_1(i) = \hat{\sigma}_1 \sqrt{-0,5v_i + \sum_{j=1}^i v_j}.$$

Для смешанных — группированных (III тип) и полных (II тип) данных можно предложить использовать сумму оценок (7) и (10), учитывая при этом известную поправку на несмещенность $\varepsilon(t, \sigma)$ (8).

$$\hat{\omega}(t) = \hat{\omega}_{\Gamma}(t) + \hat{\omega}_{\Pi}(t) + \varepsilon(t, \sigma). \quad (11)$$

Исследуем оценку (7).

Пусть имеется поток отказов от m объектов:

$$\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_p, \quad (12)$$

т. е. упорядоченный объединенный (совокупный) поток отказов. При этом, если τ_1 — наименьшая из m первых наработок, то связать остальные моменты

потока с наработками затруднительно, поскольку потеряна информация о том, какому конкретно объекту принадлежит этот отказ и какой он по номеру.

Тем не менее, оценим распределение τ_k k -го момента совокупного потока отказов, воспользовавшись центральной предельной теоремой. Пусть $n_j(t)$ — число произошедших отказов к моменту времени t для j -го потока отказов ($j = 1, \dots, m$). Функция распределения

$$F_{\tau_k}(t) = P(\tau_k \leq t) = P\left(\sum_{j=1}^m n_j(t) \geq k\right) \underset{m \rightarrow \infty}{\approx} \Phi(\varphi_{k,m}(t)), \quad (13)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp(-0,5u^2) du$ — функция распределения стандартного нормального закона;

$$\varphi_{k,m}(x) = \frac{m\Omega(x) - k}{\sqrt{m\Upsilon(x)}} = \sqrt{m} \frac{\Omega(x)}{\sqrt{\Upsilon(x)}} - \frac{1}{\sqrt{m}} \frac{k}{\sqrt{\Upsilon(x)}},$$

$\Omega(x) = E n(x)$ — среднее число отказов к моменту времени x (функция восстановления); $\Upsilon(x) = \text{var } n(x)$ — его дисперсия. В предположении, что $\varphi_{k,m}(x)$ монотонна и дифференцируема, можно считать, что τ_k асимптотически подчиняется распределению Кептейна.

Из (4) следует, что функция восстановления связана с функцией распределения наработки уравнением

$$\Omega(x) = F(x) + \int_0^x F(x-u) d\Omega(u).$$

Также известно, что дисперсию отказов, произошедших к моменту времени x , можно вычислить по известной функции восстановления (см. [8])

$$\Upsilon(x) = 2 \int_0^x \Omega(x-u) d\Omega(u) + \Omega(x) - \Omega^2(x).$$

Например, если взять показательное распределение наработки, т. е. $F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$, $\Omega(x) = \lambda x$, получим

$$\begin{aligned} \Upsilon(x) &= 2 \int_0^x \Omega(x-u) d\Omega(u) + \Omega(x) - \Omega^2(x) = \\ &= 2\lambda^2 \int_0^x (x-u) du + \lambda x - (\lambda x)^2 = \lambda x. \end{aligned}$$

Асимптотика дисперсии тоже линейна: $\Upsilon(x) \sim cx$, где угловой коэффициент c прямо пропорционален дисперсии наработки ξ и обратно пропорционален кубу ее среднего значения, т. е. $c = \text{var } \xi / E^3 \xi$.

Найдем математическое ожидание оценки ППО (7). Из (13) прямо следует, что плотность распределения $\tau_{(k)}$:

$$f_{\tau_k}(x) \approx \frac{\varphi'_{k,m}(x)}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\varphi_{k,m}^2(x)/2),$$

где $\varphi'_{k,m}(x) = \sqrt{m} \frac{\Omega'(x)}{\sqrt{\Upsilon(x)}} - \frac{\sqrt{m}\Omega(x)\Upsilon'(x)}{2\sqrt{\Upsilon^3(x)}} + \frac{1}{2\sqrt{m}} \frac{k\Upsilon'(x)}{\sqrt{\Upsilon^3(x)}}$,

$$E \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k\sigma}} V\left(\frac{t-\tau_k}{\sqrt{k\sigma}}\right) = \int_0^\infty \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k\sigma}} V\left(\frac{t-x}{\sqrt{k\sigma}}\right) f_{\tau_k}(x) dx.$$

Устремив параметр сглаживания σ к нулю, получим

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} E \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k\sigma}} V\left(\frac{t-\tau_k}{\sqrt{k\sigma}}\right) = f_{\tau_k}(t);$$

$$\begin{aligned} \lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_\Pi(t, \sigma) &= \lim_{\sigma \rightarrow 0} E \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k\sigma}} V\left(\frac{t-\tau_k}{\sqrt{k\sigma}}\right) = \\ &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p \frac{\varphi'_{k,m}(t)}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\varphi_{k,m}^2(t)/2). \end{aligned}$$

Для приближенного оценивания значения суммы перейдем к интегрированию:

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_\Pi(t, \sigma) \approx \frac{1}{m} \int_1^p \frac{\varphi'_{k,m}(t)}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\varphi_{k,m}^2(t)/2) dk.$$

Для решения последнего интеграла обозначим:

$$A = m\Omega(t), \quad B = \sqrt{m\Upsilon(t)}, \\ C = \sqrt{m} \frac{\Omega'(t)}{\sqrt{\Upsilon(t)}} - \frac{\sqrt{m}}{2} \frac{\Omega(t)\Upsilon'(t)}{\sqrt{\Upsilon^3(t)}}, \quad D = \frac{1}{2\sqrt{m}} \frac{\Upsilon'(t)}{\sqrt{\Upsilon^3(t)}}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_\Pi(t, \sigma) &\approx \frac{1}{m} \int_1^p \frac{C+Dx}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-A)^2}{2B^2}\right) dx = \\ &= \lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_\Pi(t, \sigma) \approx \frac{B}{m} \int_{\frac{1-A}{B}}^{\frac{p-A}{B}} \frac{C+DA+DBx}{\sqrt{2\pi}} \exp(-x^2/2) dx. \quad (14) \end{aligned}$$

При $m \rightarrow \infty$ нижний предел интегрирования $\frac{1-A}{B} \rightarrow -\infty$. Можно получить практическое неравенство для оценки необходимого числа m из неравенства $\frac{1-A}{B} \leq -3$ (правило трех сигм) или

$$\begin{aligned} m\Omega(t) &\geq 3\sqrt{m\Upsilon(t)} + 1 \text{ или (примерно)} \\ m &\geq 9\Upsilon(t)/\Omega^2(t). \quad (15) \end{aligned}$$

В этом случае

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma) \approx \frac{B(C+DA)}{m} \Phi\left(\frac{p-A}{B}\right) - \frac{DB^2}{\sqrt{2\pi}m} \exp\left(-\frac{(p-A)^2}{2B^2}\right). \quad (16)$$

Вычитаемое в выражении (16), по сути, является частью смещения оценки (7). Для того, чтобы убрать это смещение, верхний предел в (14) должен быть достаточно большим. Необходимо, чтобы $\frac{p-A}{B} \geq 3$ (то же правило трех сигм, что и выше), т. е.

$$p \geq m\Omega(t) + 3\sqrt{m\Upsilon(t)}. \quad (17)$$

Этого можно добиться прибавлением к оценке (7) поправки (8), являющейся оценкой хвоста ряда

$$\hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma) = \sum_{i=p+1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi im}\sigma} \exp\left(-m\left(\frac{t-\tau_i}{\sigma\sqrt{2i}}\right)^2\right) \quad (\text{см. ра- боту [1]}).$$

Заметим практическую важность (16). Формула позволяет оценить временной промежуток $[0, T]$, когда вклад систематической ошибки (8) несущественен.

Таким образом, получаем важный результат:

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} E \hat{\omega}_{\Pi}(t, \sigma) = \frac{B(C+AD)}{m} = \omega(t). \quad (18)$$

Это позволяет считать оценку (6) асимптотически несмещенной при $m \rightarrow \infty$.

Заключение

В статье доказана асимптотическая несмещенность ядерной оценки параметра потока отказов для данных, представленных объединенным потоком отказов (II типа). Доказательство основано на оценке предельного распределения k -го момента совокупного потока отказов. По известной центральной предельной теореме при определенных условиях оно будет стремиться к нормальному распределе-

нию. В дальнейшем в плане теоретических изысканий необходимо провести исследования оценки (6) на предмет их состоятельности. Это предполагается сделать в следующей статье по предложенной теме. Кроме исследования несмещенности, в статье предложена оценка параметра потока отказов при наличии смешанных данных.

Список литературы

1. Антонов А. В., Сальников Н. Л., Хромова М. О., Чепурко В. А. Об одной оценке показателей надежности восстанавливаемых технических систем // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 56–61.
2. Frees E. W. Nonparametric renewal function estimation // The Annals of Statistics. 1986. V. 14, N. 4. P. 1366–1378.
3. Markovich N. M. Nonparametric Analysis of Univariate Heavy-Tailed data: Research and Practice. Wiley Series in Probability and Statistics (V. 753). John Wiley & Sons. Ltd. 2008. 336 p.
4. Mavkovitch N. M. Nonparametric renewal function estimation and smoothing by empirical data. Preprint ETH, Zuerich. 2004.
5. ГОСТ 27.002–89. Межгосударственный стандарт надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Надежность в технике: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
6. ГОСТ 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011.
7. Острейковский В. А. Старение и прогнозирование ресурса оборудования атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 1994. 288 с.
8. Байхельд Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. М.: Наука, 1984. 328 с.
9. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.
10. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Спб.: БХВ–Петербург, 2006. 704 с.
11. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function // Annals of Mathematical Statistics. 1956. V. 27. P. 832–837.
12. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Annals of Mathematical Statistics. 1962. V. 33. P. 1065–1076.
13. Деврой Л., Дьерфи Л. Непараметрическое оценивание плотности. L_1 -подход: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 408 с.
14. Катковник В. Я. Непараметрическая идентификация и сглаживание данных: метод локальной аппроксимации. М.: Наука, 1985. 336 с.
15. Чепурко В. А. Ядерная оценка параметра потока отказов // Диагностика и прогнозирование состояния сложных систем: Сб. науч. тр. Обнинск: ИАТЭ, 2004. С. 28–36.

A. V. Antonov, Dean of Faculty, e-mail: antonov@iate.obninsk.ru, N. L. Salnikov, Professor, M. O. Khromova, Graduate Student, V. A. Chepurko, Associate Professor
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering (INPE MEPHI).

Justification of Kernel Estimation of the Failure Intensity of Restores Technical Systems

In this article, we propose a new method for estimating the reliability of recoverable objects. This paper continues previous work of these authors. The method is based on the kernel estimation failure intensity ungrouped, grouped flow failures and mixed data. The second stage is estimated by the renewal equation of density reduction. In this paper we prove an asymptotically unbiased estimates. The total flow is the sum of flows of failures of m similar systems. We study the limiting distribution of the τ_k — k -th moment of the total flow of failures. For large enough m , the distribution of τ_k is close to the normal distribution.

Keywords: renewal equation, renewal function, failure intensity, kernel estimate, the smoothing parameter

References

1. Antonov A. V., Sal'nikov N. L., Hromova M. O., Chepurko V. A. Ob odnoj ocenke pokazatelej nadezhnosti vosstanavlivaemyh tehniceskikh sistem. *Informacionnye tehnologii*. 2013. N. 12. P. 56—61.
2. Frees E. W. Nonparametric renewal function estimation. *Annals Statistics*. 1986. V. 14. P. 1366—1378.
3. Maikovich N. M. (2007). *Nonparametric Analysis of Univariate Heavy-Tailed data: Research and Practice*. Wiley. Series in Probability and Statistics (V. 753). John Wiley & Sons, Ltd. 2008. 336 p.
4. Markovitch N. M. *Nonparametric renewal function estimation and smoothing by empirical data*. Preprint ETH, Zuerich. 2004.
5. GOST 27.002—89. *Mezhgosudarstvennyj standart nadezhnost' v tehnike. Osnovnye ponjatija. Terminy i opredelenija. Nadezhnost' v tehnike*: Sb. GOSTov. M.: IPK Izd-vo standartov, 2002.
6. GOST 27.002—2009. *Nadezhnost' v tehnike. Terminy i opredelenija*. M.: Standartinform. 2011.
7. Ostrejkovskij V. A. *Starenie i prognozirovanie resursa oborudovanija atomnyh stancij*. M.: Jenergoatomizdat, 1994. 288 p.
8. Baihel'd F., Franken P. *Nadezhnost' i tehniceskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod*. M.: Nauka, 1984. 328 p.
9. *Nadezhnost' i jeffektivnost' v tehnike. Spravochnik v 10 t.* / Red. sovet: V. S. Avduevskij (pred.) i dr. V. 2. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti i jeffektivnosti*. Pod red. B. V. Gnedenko. M.: Mashinostroenie, 1987. 280 p.
10. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti*. Spb.: BHV-Peterburg, 2006. 704 p.
11. Rosenblatt M. *Remarks on some nonparametric estimates of a density function*. *Annals of Mathematical Statistics*. 1956. V. 27. P. 832—837.
12. Parzen E. *On estimation of a probability density function and mode*. *Annals of Mathematical Statistics*. 1962. V. 33. P. 1065—1076.
13. Devroj L., D'erfi L. *Neparametricheskoe ocenivanie plotnosti. L_1 -podhod*. M.: Mir, 1988. 408 p.
14. Katkovnik V. Ja. *Neparametricheskaja identifikacija i sglazhivanie dannyh: metod lokal'noj approksimacii*. M.: Nauka, 1985. 336 p.
15. Chepurko V. A. *Jademaja ocenka parametra potoka otkazov. Diagnostika i prognozirovanie sostojanija slozhnyh sistem: Sb. nauch. tr.* Obninsk: IATJe, 2004. P. 28—36.

УДК 004.832.2

А. В. Коробко, канд. техн. наук, науч. сотр.,
Т. Г. Пенькова, канд. техн. наук, науч. сотр., e-mail: Penkova_t@icm.krasn.ru
Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Интегральная OLAP-модель предметной области для аналитической поддержки принятия решений

Предложен метод построения интегральной OLAP-модели предметной области в виде решетки многомерных кубов, основанный на применении анализа формальных концептов к объектам OLAP. Интегральная OLAP-модель включает все возможные показатели и измерения предметной области и позволяет выявлять нестандартные аналитические зависимости на множестве всех объектов анализа. Применение интегральной модели повышает эффективность аналитической поддержки принятия решений на основе OLAP.

Ключевые слова: интегральная OLAP-модель, оперативная аналитическая обработка данных, анализ формальных понятий, поддержка принятия решений

Введение

Для поддержки принятия управленческих решений широко используется технология OLAP (*On-line analytical processing*) [1—7]. Технология OLAP представляет собой современную концепцию анализа данных, описанную совокупностью требований к программным продуктам, обеспечивающим оперативную аналитическую обработку и представление данных. OLAP обеспечивает пользователю естественной, интуитивно понятной моделью данных, организуя их в виде многомерных кубов.

Качество анализа данных на основе OLAP определяется доступностью исходных данных и прозрачностью аналитической модели предметной области. Как правило, аналитическая модель представляет собой множество локальных OLAP-моделей для решения частных задач: для каждой новой задачи строится новый OLAP-куб с необходимым набором

показателей и измерений [2—6]. Формирование такой фрагментарной модели происходит ввиду необходимости привлечения специалиста со знанием структуры и состава исходных данных для решения новой аналитической задачи. Применение специализированного хранилища данных в качестве источника исходной информации позволяет частично избежать ошибок согласованности анализируемых данных, но не решает проблему отсутствия возможности оперировать всеми объектами анализа предметной области [8, 9]. Актуальной становится задача построения интегральной аналитической модели.

В ряде случаев [2, 10] интегральный подход реализуется построением каталога показателей, позволяющего систематизировать объекты анализа, но не обеспечивающего поддержку их совместной аналитической обработки. Построение интегральной модели на основе онтологий [11, 12] дает возможность оперировать объектами, включенными в

онтологию, но не позволяет оперативно формировать запросы. Для повышения эффективности оперативной аналитической обработки данных необходима интегральная OLAP-модель на основе всех объектов анализа предметной области. Возможность манипулирования всеми объектами анализа в ходе аналитического эксперимента сопряжена с необходимостью использования экспертных знаний об объектах анализа и о возможности их совместной аналитической обработки. В работах авторов [13–16] предлагается использовать методы анализа формальных концептов для повышения эффективности оперативной аналитической обработки данных и построения интегральной аналитической модели предметной области.

В данной работе предлагается подход аналитической поддержки принятия решений на основе интегральной OLAP-модели предметной области. Интегральная OLAP-модель представляет собой решетку многомерных кубов, которая охватывает максимальное число аналитических задач, содержит все возможные комбинации объектов анализа предметной области и позволяет лицу, принимающему решение, оперировать всеми объектами анализа. Возможность обнаруживать нестандартные аналитические зависимости на множестве всех объектов анализа повышает эффективность аналитической поддержки принятия решений на основе OLAP.

Метод построения интегральной OLAP-модели

Метод построения интегральной OLAP-модели, предложенный авторами, заключается в применении анализа формальных концептов к объектам OLAP на основе экспертных знаний об объектах анализа (показателях и измерениях) и возможности их совместной аналитической обработки [15, 16]. Согласно интеграции OLAP и анализа формальных концептов метод включает следующие основные этапы.

1. Определение множества объектов анализа предметной области.
2. Построение формального контекста.
3. Определение кубов-концептов.
4. Построение решетки многомерных кубов.

На этапе 1 эксперт, анализируя задачи и аналитические запросы, формирует множество объектов анализа. Объекты анализа, в соответствии с моделью многомерного представления данных, делятся на множество показателей $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ и множество измерений $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$.

На этапе 2 эксперт формирует контекст. Формальный контекст определяется как тройка $K = (F, D, R)$, где F — множество показателей; D — множество измерений; $R \subseteq (F \times D)$ — отношение такое, что fRd , где $f \in F$, $d \in D$ означает, что показатель f может быть проанализирован по измерению d . Отношение сопоставимости объектов (возможность их совместной аналитической обработки) определяется на основе функциональных зависимостей базы данных,

а также знаний эксперта об аналитических особенностях объектов анализа. Формальный контекст может быть представлен в виде бинарной матрицы, строки которой соответствуют показателям, а столбцы — измерениям.

На этапе 3 на основе контекста определяется множество кубов-концептов с помощью операции "штрих". Для произвольных $A \subseteq F$ и $B \subseteq D$ определяются A' и B' :

$$A' = \{d \in D \mid fRd \text{ для всех } f \in A\},$$

$$B' = \{f \in F \mid fRd \text{ для всех } d \in B\}.$$

Пара множеств (A, B) представляет куб-концепт, где $A \subseteq F$, $B \subseteq D$, $A' = B$ и $B' = A$. Другими словами, множество показателей одинаковой размерности A , которые могут быть проанализированы по всем измерениям из B , образуют куб-концепт (A, B) . Множество показателей A представляет *объем* куба-концепта, а множество измерений B — *содержание*. В соответствии с моделью многомерного представления, куб-концепт — это аналитический многомерный куб, полный относительно добавления показателей той же размерности и состава измерений. Это означает, что невозможно включить в такой OLAP-куб дополнительный показатель без уменьшения числа измерений, т. е. в рамках построенного контекста не существует других показателей, сопоставимых с тем же набором измерений.

На этапе 4 строится решетка многомерных кубов. Множество всех кубов-концептов частично упорядочено отношением подкуб-надкуб: $(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2)$, если $A_1 \subseteq A_2$ и $B_2 \subseteq B_1$. Множество показателей родительского куба включает множество показателей дочернего куба, а в свою очередь множество измерений дочернего куба включает множество измерений родительского куба. В этом случае (A_1, B_1) — *подкуб*, а (A_2, B_2) — *надкуб*.

Алгоритмы поиска кубов-концептов и построения решетки кубов-концептов представлены на рис. 1 и 2.

Алгоритм поиска кубов-концептов является итеративной модификацией метода Крайеса [17]. Работа алгоритма начинается с добавления в множество кубов-концептов первого потенциального концепта. Затем объем потенциального концепта сравнивается с множеством показателей, сопоставимых с измерением, ранее не участвовавшим в формировании данного концепта. По результатам сравнения происходит добавление измерения к содержанию рассматриваемого концепта — наполнение, либо добавление нового потенциального концепта с последующим наполнением.

Алгоритм построения решетки кубов-концептов заключается в формировании множества кубов-концептов, связанных отношением частичного порядка. Работа алгоритма основана на свойствах решетки, согласно которым куб-концепт, являющийся надкубом для текущего куба-концепта, имеет наиболь-

```

Начало
input: F; K; D
output: B(K)
B(K) ← {F, ∅}
for k ← 1 to |B(K)| do
  for j ← max(Bk) to |D| do
    Anew ← Ak ∩ der(j)
    if Anew ≠ ∅ then
      if |Anew| = |Ak| then
        Bk ← Bk ∪ {j}
      else
        if canonic(Anew) then
          B(K) ← B(K) ∪ (Anew, der(Anew))
        endif
      endif
    endif
  endfor
  j ← j + 1
endfor
k ← k + 1
endfor
return B(K)

```

Рис. 1. Алгоритм поиска кубов-концептов на основе контекста: F — множество показателей контекста; D — множество измерений контекста; K — контекст; $B(K)$ — множество кубов-концептов; A_k — объем куба-концепта; B_k — содержание куба-концепта; A_{new} — объем потенциально нового куба-концепта; max — функция, возвращающая максимальный индекс показателя; der — функция операции "штрих"; $canonic$ — функция проверки конечности аргумента

```

Начало
input: F; K; B(K)
output: L(K)
L(K) ← ∅
for k ← 1 to |B(K)| do
  min ← F \ Ak
  for all f ∈ F do
    if f ∉ Ak then
      if min ∩ (der(der(Ak ∪ f)) \ Ak \ f) ≠ ∅ then
        min ← min \ f
      else
        L(K) ← L(K) ∪ ((Ak, Bk), (der(der(Ak ∪ f)), der(Ak ∪ f)))
      endif
    endif
  endfor
  k ← k + 1
endfor
return L(K)

```

Рис. 2. Алгоритм построения решетки кубов-концептов: $L(K) \subseteq B(K) \times B(K)$ — решетка кубов-концептов; min — контрольное множество показателей для проверки степени близости кубов-концептов



Рис. 3. Структура базы данных продаж Интернет-магазина

ший объем. Алгоритм рассматривает каждый куб-концепт, добавляя в его объем по очереди показатели и проверяя существование куба-концепта с таким объемом, а также степень близости с помощью контрольного множества.

Решетка кубов-концептов представляет собой интегральную OLAP-модель предметной области. Свойства решетки позволяют манипулировать всеми объектами анализа предметной области в ходе аналитического эксперимента. Интегральная модель охватывает максимально возможное число решаемых аналитических задач предметной области.

Пример построения интегральной OLAP-модели

Построение интегральной OLAP-модели рассмотрим на примере продаж Интернет-магазина. Как правило, оценка эффективности Интернет-магазина и качества управления связана с решением таких аналитических задач, как:

- оценка динамики продаж;
- оценка покупательской активности;
- оценка частоты поставок.

Решение перечисленных задач, в свою очередь, связано со следующими запросами:

- количество покупок, совершаемых в день, неделю, месяц или год;
- количество проданных товаров по категориям;
- число покупателей в день, неделю, месяц или год;
- сумма продаж за день, неделю, месяц или год;
- сумма продаж по категориям товаров;
- количество поставок в день, неделю, месяц или год;
- сумма поставок за день, неделю, месяц или год;
- сумма поставок по поставщикам.

Анализ запросов позволяет выделить множество терминов предметной области и на их основе определить множество объектов анализа.

Формальный контекст формируется на основе отношения сопоставимости между показателями и измерениями в соответствии со структурой базы данных и экспертными знаниями о целесообразности аналитических запросов. Структура базы данных для рассматриваемого примера представлена на рис. 3.

В структуре базы данных: таблица "Покупки" — покупки (корзины или чеки) покупателей — таблица фактов; таблица "Товары" — позиции в покупке (корзине или чеке) — таблица связи между таблицами "Покупки" и "Поставки"; таблица "Поставки" — поставки конкретного товара — таблица связи между таблицами "Справочник товаров" и "Справочник поставщиков"; таблицы "Справочник товаров", "Справочник поставщиков", "Справочник покупателей" и "Справочник районов" — справочники — таблицы измерений.

Отношение сопоставимости устанавливается, когда показатель и измерение могут

быть проанализированы вместе. На рис. 4 представлен контекст продаж Интернет-магазина.

Построенный контекст определяется множеством показателей $F = \{\text{количество покупок, количество товаров, количество поставок, число покупателей, сумма}\}$ и множеством измерений $D = \{\text{время, категория товара, поставщик, категория покупателя, район города}\}$. Используя сокращенные обозначения, получим соответственно: $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\}$ и $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\}$. Отношение R записывается следующим образом: $R = \{(f_1, d_1), (f_1, d_4), (f_1, d_5), \dots, (f_5, d_4)\}$.

Кубы-концепты формируются на основе построенного контекста. В рассматриваемом примере контекст содержит 12 кубов-концептов. Рассмотрим более детально формирование кубов-концептов с использованием операции "штрих":

1) выбираем произвольно множество показателей: $A = \{\text{количество покупок, количество товаров}\} = \{f_1, f_2\}$;

| | | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_5 |
|-------|---------------------|-------|------------------|-----------|----------------------|--------------|
| | | Время | Категория товара | Поставщик | Категория покупателя | Район города |
| f_1 | Количество покупок | X | | | X | X |
| f_2 | Количество товаров | X | X | X | X | X |
| f_3 | Количество поставок | | X | X | | X |
| f_4 | Число покупателей | X | X | | X | X |
| f_5 | Сумма | X | X | X | X | |

Рис. 4. Контекст продаж Интернет-магазина

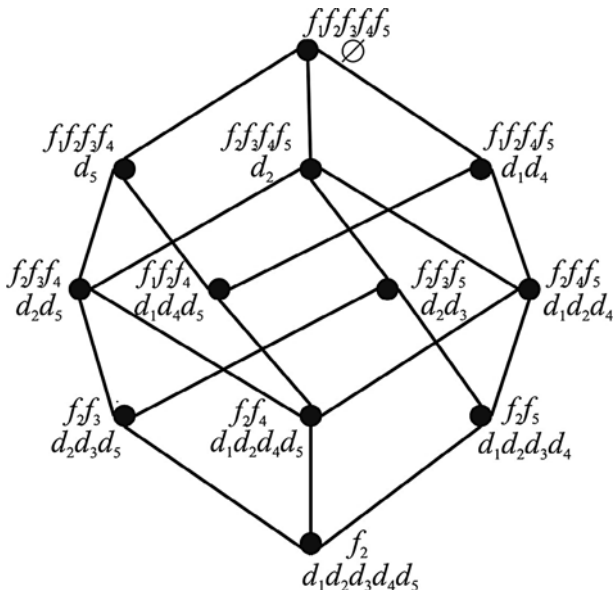


Рис. 5. Интегральная OLAP-модель продаж Интернет-магазина

2) определяем сопоставимые измерения: $A' = \{\text{время, категория покупателя, район города}\} = \{d_1, d_4, d_5\}$;

3) определяем показатели, которые могут быть проанализированы вместе с найденными на предыдущем шаге измерениями: $A'' = \{\text{время, категория покупателя, район города}\} = \{\text{количество покупок, количество товаров, число покупателей}\} = \{f_1, f_2, f_4\}$.

Множество показателей $A'' = \{f_1, f_2, f_4\}$ может быть проанализировано только с множеством измерений $A' = B = \{d_1, d_4, d_5\}$ одновременно. Следовательно, пара $(A, B) = \{\{f_1, f_2, f_4\}, \{d_1, d_4, d_5\}\}$ представляет собой куб-концепт.

Решетка многомерных кубов строится на основе отношения подкуб-надкуб. Рис. 5 демонстрирует интегральную OLAP-модель продаж Интернет-магазина в виде решетки многомерных кубов.

Интегральная OLAP-модель включает все возможные комбинации объектов анализа и дает возможность лицу, принимающему решение, манипулировать ими для построения аналитических запросов. Свойства решетки позволяют выявлять нестандартные аналитические зависимости на множестве всех объектов анализа предметной области.

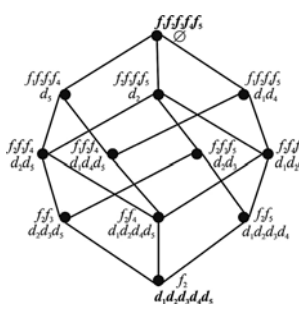
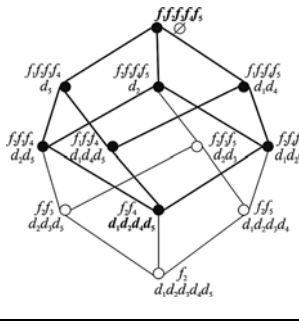

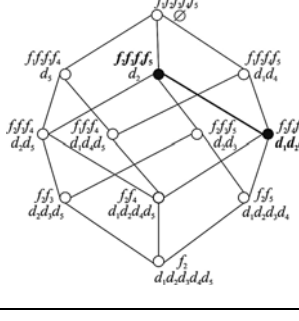
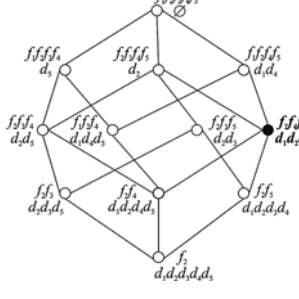
Аналитическая поддержка принятия решений на основе интегральной OLAP-модели

Аналитическая поддержка принятия решений на основе интегральной OLAP-модели заключается в формировании множеств показателей и измерений, которые могут быть добавлены к показателям и измерениям пользовательского запроса в ходе выполнения эксперимента.

Интегральная OLAP-модель определяет множество кубов, соответствующих пользовательскому запросу, и формирует подрешетку, когда пользователь выбирает необходимые для анализа показатели и измерения. Свойства концептуальной решетки дают возможность определить дополнительные показатели и измерения, которые могут быть проанализированы вместе с выбранными пользователем объектами. Куб-концепт подрешетки, расположенный на самом верхнем уровне (супремум), содержит максимальный набор дополнительных показателей, а куб-концепт подрешетки, расположенный на самом нижнем уровне (инфимум), содержит максимальный набор дополнительных измерений. Следовательно, объем супремума подрешетки — это максимальный набор дополнительных показателей, которые могут быть добавлены к пользовательскому запросу, а содержание инфимума подрешетки — это максимальный набор дополнительных измерений, которые могут быть добавлены к пользовательскому запросу.

Рассмотрим пошагово предложенный подход на примере продаж Интернет-магазина. Пара (X, Y) — это пользовательский аналитический запрос, где X — множество выбранных показателей; Y — множество

Формирование OLAP-куба на основе интегральной модели

| Характеристика шага | Подрешетка |
|--|---|
| <p>Шаг 1</p> <p>Пользовательский запрос: $X = \{\emptyset\};$ $Y = \{\emptyset\}.$</p> <p>Дополнительные объекты анализа: $X' = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\};$ $Y' = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\}.$</p> |  |
| <p>Шаг 2</p> <p>Пользовательский запрос: $X = \{f_4\};$ $Y = \{\emptyset\}.$</p> <p>Дополнительные объекты анализа: $X' = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\};$ $Y' = \{d_1, d_2, d_4, d_5\}.$</p> |  |
| <p>Шаг 3</p> <p>Пользовательский запрос: $X = \{f_4\};$ $Y = \{d_2\}.$</p> <p>Дополнительные объекты анализа: $X' = \{f_2, f_3, f_4, f_5\};$ $Y' = \{d_1, d_2, d_4, d_5\}.$</p> |  |
| <p>Шаг 4</p> <p>Пользовательский запрос: $X = \{f_4, f_5\};$ $Y = \{d_2\}.$</p> <p>Дополнительные объекты анализа: $X' = \{f_2, f_3, f_4, f_5\};$ $Y' = \{d_1, d_2, d_4\}.$</p> |  |
| <p>Шаг 5</p> <p>Пользовательский запрос: $X = \{f_4, f_5\};$ $Y = \{d_2, d_4\}.$</p> <p>Дополнительные объекты анализа: $X' = \{f_2, f_4, f_5\};$ $Y' = \{d_1, d_2, d_4\}.$</p> |  |

выбранных измерений. Для поддержки построения пользовательского запроса интегральная модель позволяет определить множество дополнительных показателей X' и множество дополнительных измерений Y' , которые могут быть добавлены на текущем шаге формирования запроса. Описание шагов представлено в таблице.

На шаге 1 пользовательский запрос пустой и множество дополнительных объектов анализа равно всему набору показателей и измерений. Другими словами, пользовательский аналитический запрос соответствует полной решетке интегральной OLAP-модели. На каждом последующем шаге в пользовательский запрос добавляется показатель или измерение, меняется подрешетка и вычисляется множество дополнительных показателей X' и множество дополнительных измерений Y' . На последнем шаге подрешетка содержит только один куб-концепт, который дает множества дополнительных объектов анализа. Рассмотренный пример иллюстрирует процесс аналитической поддержки принятия решений на основе интегральной OLAP-модели.

Так, для пользовательского $X = \{\text{количество покупателей, сумма}\}$, $Y = \{\text{категория товара, категория покупателя}\}$ модель "подсказывает", что показатель "количество товаров" и измерение "время" могут быть добавлены в текущий пользовательский запрос. На основе законченного пользовательского запроса "налету" происходит формирование OLAP-куба, который в дальнейшем может быть проанализирован стандартными OLAP-инструментами. Возможность обнаруживать новые аналитические зависимости повышает эффективность принятия решений на основе OLAP.

Заключение

Предложен подход аналитической поддержки принятия решений на основе интегральной OLAP-модели предметной области. Интегральная OLAP-модель охватывает максимальное число аналитических задач, включает все возможные комбинации объектов анализа предметной области и позволяет выявлять нестандартные аналитические зависимости на множестве всех объектов анализа предметной области. Применение интегральной модели повышает эффективность аналитической поддержки принятия решений на основе OLAP.

Список литературы

1. Codd E. F., Codd S. B., Salley C. T. Providing OLAP // On-line Analytical Processing to User-Analysts: An IT Mandate, E. F. Codd & Associates, 1993.
2. Honorvar L., Campbell S., Showalter T. Use of online analytical processing (OLAP) in a rules based decision management system. Pat. USA N 6430545.2002.
3. Ноженкова Л. Ф., Шайдулов В. В. OLAP-технологии оперативной информационно-аналитической поддержки организационного управления // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 2. С. 15—27.

4. **Qwaider W. Q.** Apply on-line analytical processing (OLAP) with data mining for clinical decision support // *International Journal of managing information technology*. 2012. Vol. 4, N. 6. P. 25–37.
5. **Tsois A., Karayannidis N., Sellis T.** MAC: conceptual data modeling for OLAP // *Proc. of the 2-nd ACM International workshop on design and management of data warehouses*. Kansas, 2001. P. 3–8.
6. **Chaudhuri S., Daul U.** Data warehousing and OLAP for decision support // *Proc. of the ACM SIGMOD International conference on management of data*. New York, 1997. P. 507–508.
7. **Penkova T., Nicheporchuk V., Korobko A.** Emergency situations monitoring using OLAP technology // *Proc. of the 35th International conference "Business Intelligence Systems"*. Opatija, 2012. P. 1941–1946.
8. **Inmon W.** *Building the Data Warehouse*. N.Y.: Wiley, 2005. 576 p.
9. **Kimball R.** *The data warehouse toolkit: practical techniques for building dimensional data warehouse*. N.Y.: Wiley, 2013. 600 p.
10. **Шовкун А. В.** Технология построения репозитория метаданных для хранилища данных // Научная сессия МИФИ-2003. М.: Изд. МИФИ, 2003. С. 76–77.
11. **Lee J., Mazzoleni P., Sairamesh J., Touma M.** System and method for planning and generating queries for multi-dimensional

analysis using domain models and data federation. Pat. USA. N 7337170, 2008.

12. **Priebe T., Pernul G.** Ontology-based integration of OLAP and information retrieval // *Proc. of the 14-th International conference on database and expert systems applications*. Prague, 2003. C. 610–614.

13. **Korobko A., Penkova T.** On-line analytical processing based on Formal concept analysis // *Journal of Procedia computer science*. 2010. Vol. 1, Is. 1. P. 2305–2311.

14. **Коробко А. В., Пенькова Т. Г.** Метод концептуального OLAP-моделирования на основе формального концептуального анализа // *Вестник СибГАУ*. 2010. Вып. 4 (30). С. 74–79.

15. **Пенькова Т. Г., Коробко А. В.** Построение интегральной OLAP-модели на основе формального концептуального анализа // *Информатизация и связь*. 2011. № 3. С. 23–25.

16. **Penkova T., Korobko A.** Method of constructing the integral OLAP-model based on formal concept analysis // *J. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. 2012. Vol. 243. P. 219–227.

17. **Krajca P., Outrata J., Vychodil V.** Parallel Recursive Algorithm for FCA // *Proc. of the Sixth International Conference on Concept Lattice and their Applications*. Olomouc, 2008. P. 71–82.

A. Korobko, Researcher, **T. Penkova**, Researcher, e-mail: Penkova_t@icm.krasn.ru
Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk

The Integral OLAP-Model of the Domain for Analytical Decision Making Support

This paper presents the approach of analytical decision making support based on the integral OLAP-model of the domain. Authors propose a method of constructing the integral OLAP-model of the domain as a concept lattice of multidimensional cubes. This method consists of a formal concept analysis of OLAP objects based on expert knowledge of the structure of analyzing objects and their comparability and contains the following basic stages: determining the set of analyzed objects; forming the formal context; generating the formal cube-concepts; constructing the concept cube-lattice. The integral OLAP-model includes all possible combinations of facts and dimensions of the domain and allows the decision maker to discover the unexpected analytical dependencies of the set of all actual analyzed objects. The implementation of the integral OLAP-model for analytical decision making support is described in this paper. The realization of integral model improves the effectiveness of analytical decision making support based on OLAP.

Keywords: integral OLAP-model, on-line analytical processing, formal concept analysis, decision making support

References

1. **Codd E. F., Codd S. B., Salley C. T.** Providing OLAP. *On-line Analytical Processing to User-Analysts: An IT Mandate*, E. F. Codd & Associates, 1993.
2. **Honorvar L., Campbell S., Showalter T.** Use of online analytical processing (OLAP) in a rules based decision management system. Pat. USA. N. 6430545. 2002.
3. **Nozhenkova L. F., Shidurov V. V.** OLAP-tehnologii operativnoj informacionno-analiticheskoj podderzhki organizacionogo upravlenija. *Informacionnija tehnologii i vichislitelnije sistemi*. 2010. N. 2. P. 15–27.
4. **Qwaider W. Q.** Apply on-line analytical processing (OLAP) with data mining for clinical decision support. *International journal of managing information technology*. 2012. Vol. 4, N. 6. P. 25–37.
5. **Tsois A., Karayannidis N., Sellis T.** MAC: conceptual data modeling for OLAP. *Proc. of the 2-nd ACM International workshop on design and management of data warehouses*. — Kansas, 2001. P. 3–8.
6. **Chaudhuri S., Daul U.** Data warehousing and OLAP for decision support. *Proc. of the ACM SIGMOD International conference on management of data*. New York, 1997. P. 507–508.
7. **Penkova T., Nicheporchuk V., Korobko A.** Emergency situations monitoring using OLAP technology. *Proc. of the 35th International conference "Business Intelligence Systems"*. Opatija, 2012. P. 1941–1946.
8. **Inmon W.** *Building the Data Warehouse*. N.Y.: Wiley, 2005. 576 p.

9. **Kimball R.** *The data warehouse toolkit: practical techniques for building dimensional data warehouse*. N.Y.: Wiley, 2013. 600 p.

10. **Шовкун А. В.** Технология построения репозитория метаданных для хранилища данных. *Научная сессия МИФИ-2003*. М., 2003. С. 76–77.

11. **Lee J., Mazzoleni P., Sairamesh J., Touma M.** System and method for planning and generating queries for multi-dimensional analysis using domain models and data federation. Pat. USA N. 7337170, 2008.

12. **Priebe T., Pernul G.** Ontology-based integration of OLAP and information retrieval. *Proc. of the 14th International conference on database and expert systems applications*. Prague, 2003. P. 610–614.

13. **Korobko A., Penkova T.** On-line analytical processing based on Formal concept analysis. *Journal of Procedia computer science*. 2010. Vol. 1, Is. 1. P. 2305–2311.

14. **Korobko A. V., Penkova T. G.** Метод концептуального OLAP-моделирования на основе формального концептуального анализа. *Vestnik SibGAU*. 2010. N. 4 (30). P. 74–79.

15. **Penkova T. G., Korobko A. V.** Построение интегральной OLAP-модели на основе формального концептуального анализа. *Информатизация и связь*. 2011. N. 3. P. 23–25.

16. **Penkova T., Korobko A.** Method of constructing the integral OLAP-model based on formal concept analysis. *J. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. 2012. Vol. 243. P. 219–227.

17. **Krajca P., Outrata J., Vychodil V.** Parallel Recursive Algorithm for FCA. *Proc. of the Sixth International Conference on Concept Lattice and their Applications*. Olomouc, 2008. P. 71–82.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 519.688, 669.14.242

Н. Н. Светушков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: svt.n.n.@mail.ru
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Метод струн в задачах многомерной нестационарной теплопроводности

Описана разработанная вычислительная программная среда, позволяющая находить распределение температурных полей для пространственно протяженных геометрически сложных изделий из композиционных материалов в условиях внешнего теплового воздействия. В качестве расчетного метода используется новый алгоритм, названный методом струн, при котором двумерные уравнения нестационарной теплопроводности сводятся к эквивалентной системе интегральных уравнений.

Ключевые слова: программные средства, моделирование, композиционные материалы, численные методы, уравнения теплопроводности, интегральные уравнения, точность вычислений

Введение

Широкое использование композиционных материалов (композитов) в авиационной промышленности объясняется их высокими эксплуатационными характеристиками, такими как малый вес и одновременно прочность готовой конструкции. Высокотехнологичные композиты используются в основном в авиации и космонавтике. В настоящее время пластиковые композиты применяют для производства таких несущих конструкций, как крылья, фюзеляжи и поперечные балки самолетов. Примерно 15 % от структурной массы современного гражданского самолета в наши дни составляют пластиковые композиты, преимущественно изготовленные из углеродной пластмассы, армированной различными высокопрочными волокнами. Чаще всего такие материалы имеют многослойную структуру, при этом каждый слой имеет отличные от остальных физико-механические свойства. Наиболее ярким примером использования композиционных материалов на данный момент считается Боинг 787 DREAMLINER. Больше половины деталей данного самолета выполнены из композиционных материалов, он имеет более высокий КПД по сравнению с предыдущим аналогом и более низкий расход топлива. В российской авиации таким примером может служить ТУ-334, где органы управления и механизации крыла выполнены из композитов.

В процессе эксплуатации изделия из композитов часто подвергаются как различным механическим, так и высокоинтенсивному тепловому воздействию (как, например, элементы крыльев и фюзеляжа самолетов). В зависимости от условий эксплуатации в таких деталях могут возникать высокие напряжения, вызванные большими градиен-

тами температур, меняющиеся с течением времени. При моделировании деталей из таких материалов часто полагают, что их теплофизические характеристики могут быть каким-либо образом усреднены, и все расчеты по моделированию процессов прогрева выполняются для средних (эффективных) значений теплоемкости и теплопроводности [1]. Однако мелкокомасштабная анизотропия и неоднородность деталей из композитов могут быть причинами возникновения повышенных термических напряжений и необратимого изменения эксплуатационных характеристик нагруженных элементов конструкции (расслоение и растрескивание композита).

При проектировании крупногабаритных деталей проведение физических экспериментов становится крайне трудоемким и дорогостоящим делом. Использование методов математического моделирования для анализа такого рода конструкций позволяет избежать создания дорогостоящих испытательных стендов и модифицировать разрабатываемое изделие уже на этапе проектирования (единственный испытательный стенд Airbus, находящийся в Германии, стоит несколько десятков миллионов долларов). Кроме того, современные возможности компьютерного моделирования позволяют задавать такие условия эксплуатации конструкции, которые с трудом можно воспроизвести даже на дорогостоящем стендовом оборудовании.

Современные возможности проведения численных расчетов, в том числе с использованием суперкомпьютеров, позволяют создавать трехмерные объекты со сложной внутренней структурой и формировать мелкогабаритные сеточные разбиения. Однако собственно численные алгоритмы решения задач теплопроводности ограничиваются в основном применением различных модификаций метода конеч-

ных элементов (МКЭ) и методами конечных разностей (МКР) (см., например, [2–4]).

Наличие мелкомасштабной внутренней структуры пространственно протяженных изделий (к которым относятся детали из композиционных материалов) требует не только задания мелкой расчетной сетки, но и учета условий непрерывности температур и тепловых потоков на границе раздела различных сред. В МКР это приводит к необходимости точного выделения границ раздела, что значительно усложняет постановку и численное решение задачи в двумерном и трехмерном случаях. МКЭ, которые основаны на минимизации различных интегральных соотношений и широко используются в коммерческих программных продуктах (ANSYS, FLOW VISION и др.), также наиболее эффективны для однородных изделий, а наличие неоднородностей и больших градиентов температур может приводить к "нефизическому" осциллирующему характеру получаемых приближенных решений.

Другой проблемой, которая сдерживает применение расчетных методов, являющаяся трудностью в оценке точности получаемых численных результатов: МКЭ уже в своей начальной постановке содержат интерполяционные зависимости, а в МКР погрешность получаемого решения оценивается только качественно по шагу сеточного разбиения. В последнее время при расчетах в программной среде ANSYS также используется модуль, оценивающий точность численного решения уравнений в частных производных с помощью функции невязки в системе интегральных уравнений, выражающих общие законы сохранения.

Общие положения метода струн

Метод струн является обобщением разработанного ранее метода геометрических интегралов [5–9] на случай, когда теплофизические свойства среды могут изменяться, например, при плавлении материала или при структурных фазовых переходах. В методе геометрических интегралов в качестве неизвестной величины выступают функции плотности тепловых потоков по соответствующим направлениям, а в методе струн неизвестными являются производные от плотностей тепловых потоков. Если рассматривать двумерный или трехмерный случаи, то метод геометрических интегралов приводит к системе интегродифференциальных уравнений (полученные результаты были представлены на международной конференции [5] и была защищена кандидатская диссертация [6]). Основной целью дальнейшей работы, которая и привела к созданию метода струн, являлось получение системы полностью интегральных уравнений, эквивалентных уравнениям в частных производных в многомерном случае.

В литературе довольно часто уделяется внимание интегральным уравнениям, в том числе и в последнее время, что связано со значительными преимуще-

ствами, которыми обладают интегральные уравнения по сравнению с дифференциальными [10]. Практически все известные коммерческие программные продукты основаны на МКЭ, в которых для вывода конечно-элементных уравнений используются интегральные соотношения (законы сохранения). Интегральные методы развиваются и при решении задач электродинамики, в том числе с использованием аналитических подходов [11]. К важным преимуществам интегральных уравнений относятся возможность оценки ошибок при их дискретизации (как известно, интегральный оператор является ограниченным, в отличие от дифференциального оператора), а также величины погрешности приближенного решения по функции невязки. Численные схемы интегрирования высокого порядка точности позволяют также повысить точность результатов с использованием крупноразмерных сеточных разбиений, что немаловажно при моделировании тепловых воздействий на изделия, имеющие большие пространственные размеры.

Процесс теплопроводности для неоднородных сред с изменяющимися теплофизическими характеристиками, как известно, описывается уравнениями в частных производных следующего вида:

$$\begin{aligned} c_p(u) \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} k_x(u) \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y(u) \frac{\partial u}{\partial y} + q; \\ u(x, y, 0) &= f(x, y); (x, y) \in \Omega; \\ W|_{(x, y) \in \Gamma(\Omega)} &= W_\Gamma, \end{aligned} \quad (1)$$

где $u = u(x, y, t)$ — распределение температурного поля; $f(x, y)$ — начальное распределение температур; $c_p(u)$ — произведение удельной теплоемкости и плотности материала, зависящие как от температуры, так и от пространственных координат; $k_{x, y}(u)$ — коэффициенты теплопроводности по соответствующим осям, также зависящие от температуры; Ω — область решения задачи; $\Gamma(\Omega)$ — граничная поверхность; $W_\Gamma = W_\Gamma(t)$ — зависящие от времени плотности тепловых потоков на границе области; $q = q(x, y, t)$ — функция плотности распределения тепловых источников.

Название "метод струн" связано с тем, что расчетная область заменяется бесконечным набором пространственных струн (по аналогии с теннисной ракеткой), прикрепленных к границе области (обод ракетки), на каждой из которых выполняется интегральное уравнение для соответствующей производной плотности теплового потока. В двумерном случае струны получаются путем сечения области решения прямыми, параллельными осям координат (рис. 1). Координаты точек, являющихся пересечением этих прямых с границей области, обозначаются координатами с подчеркиванием: $\underline{x}(y)$ — абсцисса точки пересечения границы области с прямой, параллельной оси X , имеющая меньшее значение; $\bar{x}(y)$ — абсцисса точки пересечения границы области с прямой, параллельной оси X , имеющая

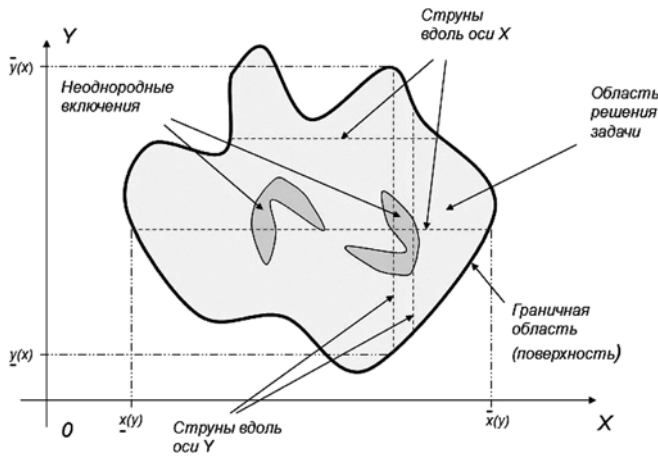


Рис. 1. Графическая иллюстрация метода струн

большее значение. Аналогичное обозначение используется и для точек пересечения границы с прямыми линиями, параллельными оси Y .

Как отмечалось ранее, искомыми функциями в интегральных уравнениях с точностью до аддитивных функций времени являются производные от тепловых потоков по соответствующим направлениям (функции S_x и S_y):

$$\begin{aligned}
 & \int_0^t \frac{S_x(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau + \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} \frac{\theta(x-\xi) - \theta(\xi-x)}{2k_x(\xi, y)} \times \\
 & \times \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} [\theta(\xi - \xi_1) \bar{r}_x(\xi, y, t) - \theta(\xi_1 - \xi) \underline{r}_x(\xi, y, t)] \times \\
 & \times S_x(\xi_1, y, t) d\xi_1 d\xi + \int_0^t \frac{S_y(x, y, \tau) d\tau}{c\rho(x, y)} - \\
 & - \frac{1}{\bar{y}(x)} \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} \int_0^t S_y(x, \eta, \tau) d\eta d\tau = \\
 & = -u_0(x, y) - \int_0^t \frac{q(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau - \\
 & - \underline{w}_x(y, t) \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} \frac{\theta(x-\xi) - \theta(\xi-x)}{2k_x(\xi, y)} \bar{r}_x(\xi, y, t) d\xi - \\
 & - \bar{w}_x(y, t) \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} \frac{\theta(x-\xi) - \theta(\xi-x)}{2k_x(\xi, y)} \underline{r}_x(\xi, y, t) d\xi + \\
 & + \frac{1}{\bar{y}(x)} \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} \int_0^t (\bar{w}_y(x, \tau) - \underline{w}_y(x, \tau)) d\tau; \quad (2) \\
 & \int_0^t \frac{S_y(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau + \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} \frac{\theta(y-\eta) - \theta(\eta-x)}{2k_y(x, \eta)} \times \\
 & \times \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} [\theta(\eta - \eta_1) \bar{r}_y(x, \eta, t) - \theta(\eta_1 - \eta) \underline{r}_y(x, \eta, t)] \times
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times S_y(x, \eta_1, t) d\eta_1 d\eta + \int_0^t \frac{S_x(x, y, \tau) d\tau}{c\rho(x, y)} - \\
 & - \frac{1}{\bar{x}(y)} \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} \int_0^t S_x(\xi, y, \tau) d\xi d\tau = \\
 & = -u_0(x, y) - \int_0^t \frac{q(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau - \\
 & - \underline{w}_y(x, t) \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} \frac{\theta(y-\eta) - \theta(\eta-y)}{2k_y(x, \eta)} \bar{r}_y(x, \eta, t) d\eta - \\
 & - \bar{w}_y(x, t) \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} \frac{\theta(y-\eta) - \theta(\eta-y)}{2k_y(x, \eta)} \underline{r}_y(x, \eta, t) d\eta + \\
 & + \frac{1}{\bar{x}(y)} \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} \int_0^t (\bar{w}_x(y, \tau) - \underline{w}_x(y, \tau)) d\tau, \quad (3) \\
 & \int_0^t \frac{S_x(x, y, \tau) d\tau}{c\rho(x, y)}
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{cases}
 \underline{r}_y(x, y, t) = \int_{\underline{x}(y)}^x c\rho(\xi, y) d\xi \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} c\rho(\xi, y) d\xi; \\
 \bar{r}_x(x, y, t) = \int_x^{\bar{x}(y)} c\rho(\xi, y) d\xi \int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} c\rho(\xi, y) d\xi; \\
 \underline{r}_y(x, y, t) = \int_y^{\bar{y}(x)} c\rho(x, \eta) d\eta \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} c\rho(x, \eta) d\eta; \\
 \bar{r}_x(x, y, t) = \int_y^{\bar{y}(x)} c\rho(x, \eta) d\eta \int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} c\rho(x, \eta) d\eta
 \end{cases} \quad (4)$$

и $\xi, \xi_1, \eta, \eta_1, \tau$ — переменные интегрирования, $\theta(x - x_0)$ — тета-функция Хевисайда.

Если решение системы уравнений (2)–(3) найдено, то температура может быть вычислена путем простого интегрирования найденных функций по времени:

$$\begin{aligned}
 u(x, y, t) &= u_0(x, y) + \int_0^t \frac{q(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau + \int_0^t \frac{S_x(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau - \\
 & - \int_0^t \left[\int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} c\rho(\xi, y) d\xi \right]^{-1} \left[\int_{\underline{x}(y)}^{\bar{x}(y)} S_x(\xi, y, \tau) d\xi + \bar{w}_x(\tau) - \right. \\
 & \left. - \underline{w}_x(\tau) \right] d\tau + \int_0^t \frac{S_y(x, y, \tau)}{c\rho(x, y)} d\tau - \int_0^t \left[\int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} c\rho(x, \eta) d\eta \right]^{-1} \times \\
 & \times \left[\int_{\underline{y}(x)}^{\bar{y}(x)} S_y(x, \eta, \tau) d\eta + \bar{w}_y(\tau) - \underline{w}_y(\tau) \right] d\tau. \quad (5)
 \end{aligned}$$

В отличие от других методов, позволяющих вывести интегральные уравнения (например, метод

граничных элементов [10]), в предлагаемом методе струн не используется знание фундаментального решения системы (найти которое для геометрически сложных областей довольно проблематично). Кроме этого, разработанный подход имеет ряд существенных вычислительных преимуществ:

- применимость для изделий со сложной геометрией и возможность оценки погрешности и, как следствие, отсутствие "нефизичных" осцилляций при больших температурных градиентах;
- отсутствие необходимости явным образом выделять границы однородных областей для согласования условий непрерывности температур и тепловых потоков;
- эффективность при распараллеливании и организации многопоточковых вычислений.

Итерационный алгоритм решения задачи теплопроводности методом струн

Итерационные методы позволяют эффективно решать различные нелинейные задачи, причем в случае интегральных уравнений появляется возможность следить за уменьшением вектора невязки на каждом шаге итерации и останавливать расчеты при достижении ею заданного пользователем значения.

Применение итерационного алгоритма для решения уравнений теплопроводности методом струн позволяет не только обеспечить необходимую точность, но и единым образом решать линейные и нелинейные задачи, включая задачи с граничными условиями в виде тепловых потоков, зависящих от температуры поверхности (задачи излучения).

Для решения системы (2)—(3) был использован итерационный алгоритм, основанный на их размыкании (правые части предполагаются известными

функциями). В этом случае каждая из задач вдоль струны по соответствующим осям может быть решена независимым способом. После этого на основе найденных значений правые части корректируются, и система решается заново. Блок-схема итерационного алгоритма решения представлена на рис. 2.

Заметим, что итерационный алгоритм наиболее подходит к решению задач с фазовыми переходами. Оказалось, что строгое доказательство сходимости разработанного алгоритма провести достаточно сложно. Поэтому для того, чтобы исследовать скорость его сходимости и точность получаемых при этом результатов, были проведены серии тестовых расчетов для разнообразных теплофизических задач, включая задачи, имеющие сложную геометрию, и задачи со значениями теплофизических характеристик, варьируемых в широком диапазоне.

Для проведения расчетов была создана специализированная программная среда [9], позволяющая задавать произвольные неоднородные двумерные модели, описывать начальные и граничные условия, а также проводить расчеты и отображать полученные результаты расчетов в виде цветowych и трехмерных карт.

В силу того что система (2)—(3) эквивалентна дифференциальному уравнению теплопроводности, оценка погрешности ее решения может быть использована для оценки точности решения исходного уравнения в частных производных (1). Результаты проведенных расчетов показали, что скорость сходимости для большинства задач достаточно высокая — не более 50 итераций для достижения относительной погрешности менее 1 % (точность оценивалась как по известным аналитическим решениям, так и по функции невязки в системе интегральных уравнений (2)—(3)).

Двумерная геометрическая модель армированного композиционного материала

В силу того что в расчетном алгоритме, основанном на интегральных уравнениях, не требуется в явном виде согласования условий на границах раздела сред (в отличие от МКР и МКЭ), то нет необходимости и явного выделения границ раздела. Таким образом, алгоритм расчета позволяет пользователю задавать в программной среде произвольного вида ячейки с различными матрицами и связующим и, таким образом, позволяет при моделировании варьировать типы композиционных материалов, а также включать армирующие волокна. Для дальнейшего тестирования программного комплекса была задана модель неоднородного слоистого материала, армированного стальными волокнами (рис. 3, см. четвертую сторону обложки).

Как видно из таблицы, теплофизические свойства армирующих волокон значительно отличаются от свойств теплоизоляционных слоев, что в месте их

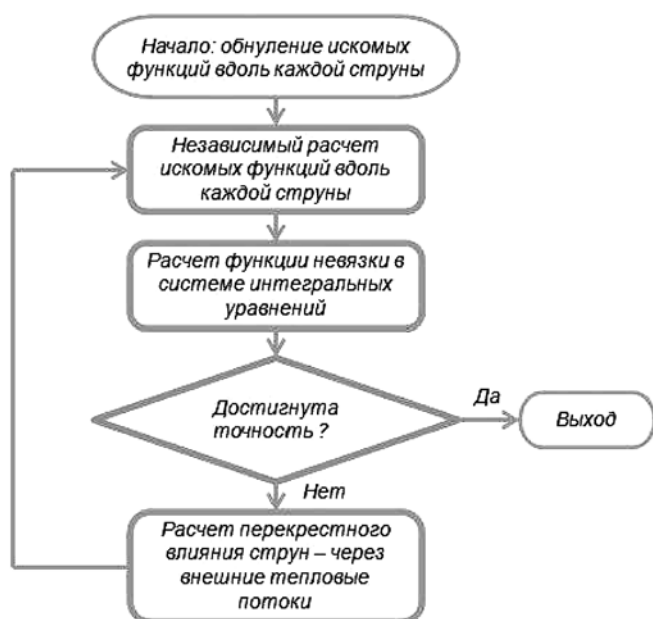


Рис. 2. Блок-схема итерационного алгоритма решения задачи теплопроводности в двумерном случае методом струн

Свойства входящих в композит материалов

| Материал | Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К) | Плотность, кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К) |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|
| Пластиковые (теплоизоляционные) слои | 1,0...10 | 150 | 0,01...0,1 |
| Армирующие волокна (сталь) | 500 | 7800 | 21 |

контакта может приводить к значительным термическим напряжениям. Поэтому целью проведения модельных расчетов может являться уменьшение термических напряжений в квазистационарном режиме или уменьшение длительности воздействия максимальных напряжений в переходном режиме.

При вычислениях были использованы такие же граничные условия, что и при моделировании прогрева простейшей слоистой структуры, — адиабатические на боковых поверхностях и постоянные температуры на верхней и нижней гранях.

Результаты расчетов в виде трехмерных графических карт приведены на рис. 4 (см. четвертую сторону обложки). На нем видно, что прогрев по толщине композита происходит неравномерно, что приводит, как и следовало ожидать, к повышенным термическим напряжениям в конструкции, особенно в начальный момент времени. При выходе на квазистационарный режим градиенты уменьшаются, но полного выравнивания тепловых потоков по толщине не происходит.

Возможности программного комплекса позволяют изучить влияние различного типа армирования композита на интенсивность прогрева конструкции, другими словами, пользователь может изменить расположение армирующих волокон и проанализировать, как при этом изменяются температурные поля, например, в квазистационарном режиме. На рис. 5 представлены четыре вида структуры эле-

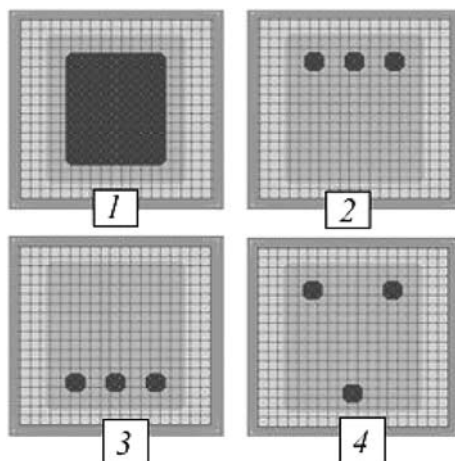


Рис. 5. Четыре структуры армированных ячеек с теплоизоляционным наполнителем

ментарной ячейки, состоящие из теплоизоляционного слоя, армированного стальной проволокой.

Результаты расчетов показаны на рис. 6 (см. четвертую сторону обложки). На нем хорошо видно, что распределение температурных полей в квазистационарном случае действительно существенным образом зависит от расположения и толщины армирующих волокон, имеющих более высокие коэффициенты теплоемкости и теплопроводности.

Полученные результаты показывают, что использование проволоки большого диаметра является затратным и приводит к большим температурным градиентам в области контакта с теплоизолятором. Стальные волокна, расположенные ближе к поверхности с более высокой температурой, находятся под воздействием более высоких термических напряжений и, кроме того, являются причиной повышенных тепловых потерь. Вариант 4, в котором нити разнесены, также не является достаточно удачным, так как две нити находятся под воздействием высоких температур с большими градиентами. Наиболее приемлемым является вариант 3, когда армирующие нити расположены в области с более низкой температурой и имеют более низкие температурные градиенты в местах контакта. Этот вариант может быть более глубоко исследован для определения оптимального расстояния нитей от высокотемпературного поверхностного слоя с точки зрения обеспечения необходимых температурных и силовых условий эксплуатации композиционного материала.

Заключение

Наличие в составе композита упрочняющего материала с высоким коэффициентом теплопроводности и высокой удельной теплоемкостью приводит к появлению ярко выраженных участков с неравномерным распределением температуры. Таким образом, использование "эффективных" коэффициентов теплопроводности не может в полной мере описывать характер распределения температур в композиционных материалах, особенно в начальные моменты и переходные стадии прогрева. С точки зрения долговечности эксплуатации конструкции наиболее опасным является начальный этап прогрева, когда температурные градиенты, вызванные неоднородностями композита, максимальны, что приводит также к максимальным температурным напряжениям.

Разработанный программный продукт на языке Visual C++, обладая достаточно гибким интерфейсом, может быть использован для оптимизации внутренней структуры разрабатываемых композиционных материалов как с точки зрения уменьшения тепловых потерь, так и с точки зрения обеспечения необходимой прочности конструкции. Имеющиеся программные и алгоритмические возможности позволяют в широком диапазоне варьировать теплофизические характеристики и геометрию используе-

мых материалов, оптимизируя конструкцию путем проведения серии численных экспериментов. Кроме этого, имеется возможность использовать программный комплекс и для определения усредненных теплофизических характеристик композиционных материалов.

Автор выражает благодарность Э. Е. Сону, М. В. Брыкину, Е. П. Пахомову (ОИВТ РАН), А. И. Леонтьеву (МЭИ), М. П. Галанину, В. И. Мажукину (ИПМ), В. С. Зарубину, Г. Н. Кувырину (МВТУ им. Баумана) за полезные обсуждения и поддержку работы.

Список литературы

1. Дульнев Г. Н., Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
2. Morton K. W. and Mayers D. F. Numerical Solution of Partial Differential Equations, An Introduction. Cambridge University Press, 2005.
3. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, 6th ed., by o.c.Zienkiewics, R. L. Taylor and J. Z. Zhu. Elsevier, Oxford, 2005.

4. Kaw A., Kalu E. Numerical Methods with Applications. 2008. LULU.COM (web publishing).

5. Svetushkov N. Geometric integral methods in simulation of thermal processes // 4th International Conference on Thermal Process Modeling and Computer Simulation. Shanghai, CHINA. 28 May—3 June. 2010. P. 60—61.

6. Светушков Н. Н. Моделирование нестационарных тепло-вых процессов в неоднородных средах. Дисс. ... канд. техн. наук, МВТУ им. Баумана, 2010.

7. Светушков Н. Н. Метод геометрических интегралов при моделировании процессов теплопередачи в задачах с фазовыми превращениями // Вестник Московского авиационного института, 2012. Т. 19, № 5. С. 182—186.

8. Светушков Н. Н. Возможности компьютерного моделирования технологических процессов термической обработки // Тр. МАИ 2012, № 58 URL: Vwww.mai.ru/science/tmdy/

9. Свидетельство о государственной регистрации программ № 2013615984, "Программный комплекс по расчету нестационарных тепловых полей в сложных двумерных объектах методом геометрических интегралов" от 25 июня 2013 г.

10. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. М.: Мир, 1987. 328 с.

11. Дмитриев В. И., Захаров Е. В. Метод интегральных уравнений в вычислительной электродинамике. М.: МАКС Пресс, 2008. 316 с.

N. N. Svetushkov, Senior Researcher, e-mail: svt.n.n@mail.ru,
Moscow Aviation Institute (National Research University)

The Method in Multidimensional Unsteady Heat Conduction Problems

The article describes the developed computer software environment that allows to find the distribution of temperature fields for spatially extended geometrically complex parts made of composite materials under external heat. As the calculation method uses a new algorithm called "separated strings method", in which partial differential equations are reduced to an equivalent system of integral equations. Author has analyzed the shortcomings of existing calculation methods and numerical schemes. There are some advantages of the developed approach, including the possibility of efficient parallelization that is really relevant for the solution of heat conduction problems for spatially extended objects, which include parts of the wing and the fuselage of the aircraft. Integral description of heat transfer processes, not only allows a more efficient simulation of heat transition by suppressing the oscillatory behavior of the solution in the case of large temperature gradients, but also a natural way to take into account heterogeneity of different products, without the use of various "seaming" approaches. An important advantage of the algorithm is ability to assess the accuracy of the numerical solution with the residual function in the system of integral equations. The article shows typical temperature profiles as in the transient and quasi-stationary cases at various ways of reinforcing insulating materials. There is conclusion about the need explicit consideration of the internal structure of the composite material in the case of large heat loads that applies to parts made of composites in aerospace engineering.

Keywords: software, simulation, composite materials, numerical methods, the heat equation, integral equations, the accuracy of calculations

References

1. Dulnev G. N., Zarichnyak Yu. P. *Teploprovodnost smesey i kompozitsionnykh materialov*. L.: Energiya 1974. 264 p.
2. Morton K. W., Mayers D. F. *Numerical Solution of Partial Differential Equations, An Introduction*. Cambridge University Press, 2005.
3. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. 6th ed., by O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor and J. Z. Zhu. Elsevier, Oxford, 2005.
4. Kaw A., Kalu E. *Numerical Methods with Applications*. 2008. LULU.COM (web publishing).
5. Svetushkov N. Geometric integral methods in simulation of thermal processes. *4th International Conference on Thermal Process Modeling and Computer Simulation*. Shanghai, CHINA. 28 May—3 June. 2010, P. 60—61.
6. Svetushkov N. N. *Modelirovaniye nestatsionarnykh teplovykh protsessov v neodnorodnykh sredakh*. Diss. ... soisk. st. k.t.n., MVTU im. Bauman, 2010.

7. Svetushkov N. N. Metod geometricheskikh integralov pri modelirovani protsessov teploperedachi v zadachakh s fazovymi prevrashcheniyami. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*. 2012. V. 19, N. 5. P. 182—186.

8. Svetushkov N. N. Vozmozhnosti kompyuternogo modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov termicheskoy obrabotki. *Trudy MAI 2012*. N. 58. URL: www.mai.ru/science/trudy/

9. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm № 2013615984. *Programmnyy kompleks po raschetu nestatsionarnykh teplovykh poley v slozhnykh dvumernykh obyektakh metodom geometricheskikh integralov* ot 25 iyunya 2013 g.

10. Krauch S., Starfield A. *Metody granichnykh elementov v mekhanike tverdogo tela*. M.: Mir, 1987. 328 p.

11. Dmitriyev V. I., Zakharov Ye. V. *Metod integralnykh uravneniy v vychislitelnoy elektrodinamike*. M.: MAKS Press, 2008. 316 p.

М. Г. Матвеев, д-р техн. наук, проф., зав. каф., e-mail: mgmatveev@yandex.ru,
Е. А. Сирота, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: sirota_ea@sc.vsu.ru,
 Воронежский государственный университет

Разработка и исследование статистических моделей нестационарного многомерного временного ряда атмосферных температур в условиях неоднородности

Предлагаются обоснование, построение и анализ моделей векторной авторегрессии с переменными параметрами, непрерывно зависящими от изменения состояния атмосферы, для описания многомерного нестационарного временного ряда температур в условиях неоднородности статистических данных.

Ключевые слова: нестационарный многомерный временной ряд, метеорология, векторная авторегрессия, температурный тренд, моделирование, классы однородной статистики

Введение и постановка задачи

Важной задачей метеорологии является анализ динамических процессов изменения атмосферной температуры. При этом рассматриваются скалярные поля атмосферной температуры, представленные на заданных уровнях геопотенциала двухмерной сеткой с постоянными шагами по меридианам и параллелям, а также ежедневные значения среднесуточной температуры в узлах сетки. Изменение температуры представляет собой случайный процесс, порождающий временной ряд температур. Динамика температуры в каждом узле сетки определяется не только местными факторами, но и влиянием конвективной составляющей, обусловленной переносом воздушных масс в атмосфере. Следствием этого является взаимная коррелированность временных рядов температур в смежных узлах, т. е. многомерность временных рядов температур. Временные ряды температур нестационарны в том смысле, что математическое ожидание и дисперсия уровней ряда зависят от времени, в частности, можно говорить о существовании сезонных температурных трендов. Еще одна важная особенность случайной последовательности температур — изменчивость условий ее формирования, связанная со сменой состояний атмосферы. В этом случае можно считать, что нестационарность, проявляющаяся в существовании температурного тренда, осложняется неконтролируемым изменением его параметров.

При построении параметрической модели нестационарных временных рядов обычно используют процедуру "остационарирования" ряда. Эта процедура зависит от типа нестационарности и может осуществляться различными путями. Один из них состоит в оценке параметров функции тренда методом наименьших квадратов и вычитании ее значений из исходного ряда. Другой заключается в применении к исходному ряду разностного оператора до тех

пор, пока ряд разностей не станет стационарным. Третий путь состоит в формулировке такой комбинации нестационарных рядов (коинтеграции), последовательность значений которой стационарна. Все эти подходы существенно осложняются необходимостью выявления типа нестационарности на основе различных статистических тестов [1–3].

Стационарные многомерные временные ряды обычно описываются приведенной формой модели векторной авторегрессии (ВАР) вида [1]

$$x(t) = a_0 + A_1x(t-1) + \dots + A_px(t-p) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где $x = \{x_1, \dots, x_n\}^T$ — вектор значений температуры в n смежных узлах сетки; a_0, A_k — вектор и квадратная матрица параметров модели, $k = 1, \dots, p$ — временной лаг авторегрессии; $\varepsilon(t)$ — вектор серийно некоррелированных ошибок, о которых предполагается, что они имеют нулевое среднее и интерпретируются как белый шум.

Параметры ВАР оцениваются по методу наименьших квадратов (МНК), применяемому к каждому уравнению системы (1), с обязательным выполнением условий однородности статистических данных, определяемых стационарностью состояний атмосферы. Поскольку изменчивость состояния атмосферы влечет неоднородность статистических данных и соответствующее изменение параметров, возникает необходимость формулировки критериев однородности и построения совокупности выборочных массивов примерно однородных данных, для которых можно строить модели ВАР с МНК-оценками параметров, соответствующими каждой выборке.

Репрезентативные выборки однородных данных представляют собой классы толерантности, не имеющие четких границ. Поэтому целесообразным является применение нечетких продукционных правил (модель Сугено) [4], позволяющих на основе нечеткой классификации уровней ряда строить набор

моделей динамики вида (1), формировать нечеткое множество решений, а затем дефазсифицировать эти решения в четкий результат. Как показано в работе [4], такой подход позволяет получить более адекватную модель, чем непосредственное применение модели ВАР. Дальнейшее возможное повышение адекватности модели лежит на пути аппроксимации дискретного соответствия параметров ВАР классу толерантности однородной статистики непрерывной зависимостью параметров от характеристик состояния атмосферы. Такой подход позволяет описывать поведение нестационарных временных рядов без применения процедуры "остационаривания" моделями ВАР с изменяющимися параметрами.

Цель настоящей работы — обоснование, построение и анализ моделей ВАР с переменными параметрами, непрерывно зависящими от изменения состояния атмосферы, для описания многомерного нестационарного временного ряда температур в условиях неоднородности статистических данных.

Построение классов однородных статистических данных атмосферных температур

Построение классов однородной статистики можно осуществлять на основе статистических методов кластеризации или на основе постулирования физических условий однородности и проверки этих условий по измеримому критерию [5]. Второе направление в наших условиях представляется более целесообразным.

Будем рассматривать модель среднесуточных изменений температуры в узлах плоской координатной сетки над поверхностью Земли. Источником статистических данных является web-ресурс [6], шаг по широте (координата i) и долготе (координата j) составляет $h = 2,5^\circ$. Между временными рядами в соседних узлах сетки имеется корреляционная зависимость.

Необходимо на множестве M входных статистических данных $x(t) = (x_{i-1,j}; x_{i,j}; x_{i+1,j}; x_{i,j-1}; x_{i,j+1})$, представляющих собой векторы значений температуры в окрестности узла ij , полученные в различные моменты времени t , выделить классы однородной статистики $M_k \subset M$, $k = 1, \dots, d$. Для этого следует определить критерий оценки однородности условий протекания процесса и, соответственно, однородность статистических данных. Физика атмосферы [7] в качестве такого критерия позволяет принять конечно-разностную оценку градиента температуры в каждом узле пространственной сетки $\nabla = (\delta_i; \delta_j)$, где компоненты вектора градиента оцениваются центральными разностями $\delta_i = x_{i+1,j} - x_{i-1,j}$, $\delta_j = x_{i,j+1} - x_{i,j-1}$. Можно считать, что вычисленный таким образом градиент характеризует движение воздушных потоков, во многом определяющее текущее состояние атмосферы. Если градиент, вы-

численный в окрестности узла с координатами i, j , не изменяется (точнее, почти не изменяется) во времени, то с определенными допущениями можно считать, что состояние атмосферы в данной окрестности стабильно и может быть отнесено к одному из классов. Другими словами, каждый класс однородной статистики представляет собой объединение интервальных фрагментов временного ряда с близкими значениями градиента температур.

Для построения классов можно предложить следующую процедуру.

Пусть длина и направление вектора V ограничены соотношениями

$$|\nabla| \in [0, |\nabla_{\max}|]; \quad (2)$$

$$\alpha \in [0^\circ, 360^\circ), \quad (3)$$

где α — угол между вектором ∇ и вектором $(0, 1)$.

Разобьем промежутки в правой части соотношений (2) и (3) на несколько меньших, одинаковых промежутков Δx_i , $i = 1, \dots, k_1$, и $\Delta \alpha_j$, $j = 1, \dots, k_2$, таких что $\bigcup_i \Delta x_i = [0, |\nabla_{\max}|]$; $\bigcap_i \Delta x_i = \emptyset$; $\bigcup_j \Delta \alpha_j = [0^\circ, 360^\circ)$; $\bigcap_j \Delta \alpha_j = \emptyset$. Получим два множества классов длин и направлений вектора градиента: $\{\Delta x_i\}$, $\{\Delta \alpha_j\}$. Прямое произведение этих множеств даст множество классов $(\Delta x_i, \Delta \alpha_j)$. Каждая пара значений длины вектора $|\nabla|$ и угла α внутри класса $(\Delta x_i, \Delta \alpha_j)$ определяется измеренными значениями температуры в смежных узлах сетки

$$|\nabla| = \sqrt{(x_{i+1,j} - x_{i-1,j})^2 + (x_{i,j+1} - x_{i,j-1})^2}; \quad (4)$$

$$\cos \alpha = \frac{\delta_j}{|\nabla|}. \quad (5)$$

Соотношения (4) и (5) означают, что попадание в тот или иной класс полностью определяется измеренными значениями температур $x = (x_{i-1,j}; x_{i+1,j}; x_{i,j-1}; x_{i,j+1})$ и определяет возможность каждому классу $(\Delta x_i, \Delta \alpha_j)$ ставить в однозначное соответствие статистический ансамбль однородных данных с зависимой переменной $x_{ij}(t)$ и факторами $x_{ij}(t-k)$, где $k = 1, \dots, p$. Совокупность этих данных уже не представляет собой временную последовательность температур и не может рассматриваться как временной ряд, поскольку каждый класс содержит фрагменты исходного ряда, полученные на разрозненных временных интервалах. Однако формально этой статистике могут быть поставлены в соответствие уравнение ВАР (1) и задача получения оценок ее параметров. Ансамбль однородной статистики можно рассматривать как выборочную совокупность случайной величины x_{ij} с соответствующим математическим ожиданием и дисперсией.

Построение моделей ВАР температур для классов однородной статистики

На основе анализа взаимной корреляции рядов примем гипотезу о векторном марковском процессе для всех классов состояния атмосферы. Уравнение (1) приобретает следующий вид:

$$x(t) = a_0 + Ax(t-1) + \varepsilon(t), \quad (6)$$

где $A = \|a_{ml}\|$ — матрица параметров модели; a_0 — вектор, интерпретируемый как средний уровень ряда. Уравнение (6) для каждого класса будет отличаться значениями параметров $\|a_{ml}\|$ и a_0 . В каждом классе однородных данных изменения значений температуры можно представить как случайные колебания вокруг некоторого среднего уровня температур. Тогда задачу оценки параметров модели (6) можно разделить на оценку среднего выборочного значения a_0 и оценку параметров $\|a_{ml}\|$. Оценка \bar{a}_0 определяется как среднее арифметическое каждой выборки. Для решения второй задачи модель ВАР в каждом узле ij температурной сетки можно переписать в виде

$$y_{ij}(t+1) = a_{ij}y_{ij}(t) + a_{i-1,j}y_{i-1,j}(t) + a_{i+1,j}y_{i+1,j}(t) + a_{i,j-1}y_{i,j-1}(t) + a_{i,j+1}y_{i,j+1}(t), \quad (7)$$

где $y_{kl} = x_{kl} - \bar{a}_{0l}$.

Параметры модели (7) будем определять с помощью МНК. Качество полученных оценок, помимо классических t -тестов, можно проверять с использованием следующего соотношения: сумма коэффициентов при переменных правой части уравнения (7) должна приблизительно равняться единице, т. е.

$\sum_1^5 \approx 1$. Правомочность такого утверждения основывается на следующих рассуждениях. Пусть состояние атмосферы в ближайшей окрестности узла ij характеризуется стационарностью и отсутствием переноса воздушных масс. В этом случае значения y в смежных узлах сетки и в моменты времени t и $t+1$ будут равны, а уравнение (7) примет вид

$$y = a_{ij}y + a_{i-1,j}y + a_{i+1,j}y + a_{i,j-1}y + a_{i,j+1}y = (a_{ij} + a_{i-1,j} + a_{i+1,j} + a_{i,j-1} + a_{i,j+1})y.$$

Отсюда следует, что выражение в скобках для приведенных идеальных условий должно равняться единице. Поскольку речь идет о выборочных оценках параметров, знак четкого равенства следует заменить приближительным равенством.

Для экспериментальной апробации использовались статистические данные реанализа параметров атмосферы [6] за 2008—2010 годы, приведенные к среднесуточным значениям. Рассматривались процессы изменения температуры при геопотенциале 300 ГПа в узле сетки с координатами -70° северной широты, $2,5^\circ$ восточной долготы. В рассматриваемом узле было выделено 16 классов однородной статистики, из них 14 оказались с представительным объемом выборки.

Результаты моделирования приведены в табл. 1, где классы обозначены как K_k , $k = 1, \dots, 14$.

Как видно из таблицы, сумма оценок параметров для каждого класса примерно равна единице, что соответствует введенному условию стационарности и обуславливает адекватность полученных оценок. Для подтверждения адекватности моделей в таблице также приводятся значения коэффициента детерминированности R^2 [8].

Таблица 1

Параметры модели ВАР для класса однородной статистики

| № кл. | a_{0l} | $a_{i,j}$ | $a_{i-1,j}$ | $a_{i+1,j}$ | $a_{i,j-1}$ | $a_{i,j+1}$ | Σa без a_{0l} | R^2 |
|----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|-------|
| K_1 | -48,69 | 0 | 0 | -0,25 | 2,80 | -1,61 | 0,94 | 0,76 |
| K_2 | -51,06 | 0,40 | 7,55 | 9,32 | 0 | -16,17 | 1,11 | 0,84 |
| K_3 | -49,59 | 0,28 | 0,82 | -1,70 | -1,23 | 2,8 | 0,97 | 0,94 |
| K_4 | -50,02 | 0,48 | 0,92 | 4,11 | 3,77 | -8,32 | 0,96 | 0,85 |
| K_5 | -50,65 | 0,50 | 0,92 | 3,68 | 7,74 | -11,9 | 0,94 | 0,63 |
| K_6 | -50,70 | 0 | 0 | 0,66 | -0,40 | 0,63 | 0,89 | 0,82 |
| K_7 | -50,37 | 1,9 | 0 | 0,83 | 0 | -1,82 | 0,91 | 0,80 |
| K_8 | -49,59 | -0,7 | 0,15 | 2,98 | 3,78 | -5,40 | 0,81 | 0,73 |
| K_9 | -49,97 | 0 | 0,86 | 0 | 0 | 0,07 | 0,93 | 0,88 |
| K_{10} | -50,29 | 0 | 0 | -1,74 | 1,79 | 0,77 | 0,82 | 0,84 |
| K_{11} | -49,98 | 0,31 | 0 | 0 | 0 | 0,71 | 1,02 | 0,87 |
| K_{12} | -49,66 | 0 | 0 | 0,46 | 0,47 | -0,11 | 0,82 | 0,80 |
| K_{13} | -49,42 | 1,18 | 0 | -0,26 | 7,06 | -7,00 | 0,98 | 0,90 |
| K_{14} | -50,11 | 0,75 | 0,026 | 4,91 | 6,62 | -11,26 | 1,05 | 0,92 |

Аппроксимация зависимости параметров модели ВАР от состояния атмосферы

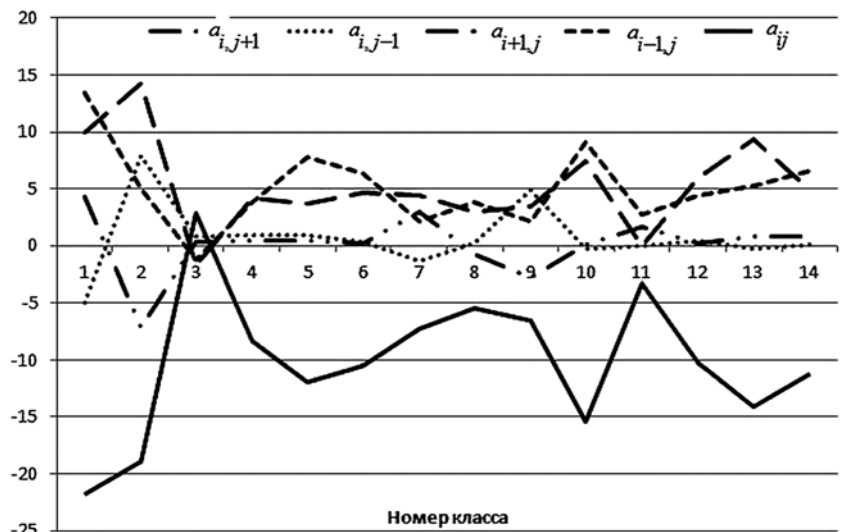
Каждый класс K_k однородной статистики может быть охарактеризован усредненным по соответствующей выборке вектором $\nabla_k = (\delta_i; \delta_j)$. Тогда каждому вектору-градиенту ∇_k можно поставить в однозначное соответствие оценки параметров модели ВАР из табл. 1. Другими словами, каждый столбец параметров табл. 1 можно рассматривать как таблично заданную непрерывную зависимость параметров ВАР от состояния атмосферы или вектора значений $x = (x_{i-1}, j; x_{i+i}, j; x_{i,j-1}; x_{i,j+1}) - a(x)$. Аппроксимация такой зависимости позволит получить ВАР с переменными параметрами для описания многомерного нестационарного временного ряда температур в изменяющихся условиях.

Задача заключается в выборе подходящей аппроксимирующей функции и метода аппроксимации. Для выбора аппроксимирующей функции целесообразно построить графики зависимости изменения значений каждого параметра от вектора-градиента ∇_k для наблюдения качественных тенденций изменений. Поскольку речь идет о качественных оценках, для упрощения построений будем рассматривать зависимость параметров от номера класса однородной статистики. Такие зависимости показаны на рисунке.

Характер изменений параметров при изменении состояний атмосферы показывает, что для аппроксимации целесообразно использовать нейронную сеть в качестве универсального аппроксиматора.

Оценка характера изменения параметров осуществляется отдельно для каждого класса универсальным аппроксиматором — многослойным персептроном, с вектором входа $x = (x_{i-1}, j; x_{i+i}, j; x_{i,j-1}; x_{i,j+1})$ и вектором выхода $a(x)$. Для обучения был использован трехслойный персептрон с четырьмя нейронами входного слоя, четырьмя нейронами скрытого и пятью нейронами выходного слоя. Для обучения сети использовали инструментальную среду MATLAB 10. В качестве функций активации входного и скрытого слоя использовалась сигмоидальная функция "logsig", для выходного слоя — линейная функция "purelin". Обучение ИНС проводилось с помощью алгоритма Levenberg-Marquardt ("trainlm").

Результаты моделирования оценивали на контрольной выборке и сравнивали с моделями в виде многослойного персептрона, моделью Сугено с векторной авторегрессией, моделью Сугено с многослойным персептроном. Модель Сугено представ-



Графики зависимости параметров модели ВАР от номера класса однородной статистики

ляет собой систему нечетких продукционных правил, где каждое правило составлено для своего класса однородной статистики. Заключение каждого продукционного правила содержит либо модель векторной авторегрессии, либо многослойный персептрон. Моделирование во всех случаях осуществлялось на одной и той же статистике, что обеспечило возможность сравнения результатов. Для последних трех моделей использовали методики моделирования, описанные в работе [9]. В качестве показателя эффективности каждой модели использовали коэффициент детерминации и показатель процентной погрешности прогноза MAPE

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{x(t) - \hat{x}(t)}{x(t)} \right| \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где $x(t)$, $\hat{x}(t)$ — фактические и расчетные значения уровней ряда, соответственно MAPE не должен превышать 10...12 %.

Результаты моделирования показаны в табл. 2.

Таблица 2
Результаты сравнения моделей описания динамики нестационарного векторного процесса

| Вид модели | R^2 | MAPE |
|--|-------|--------|
| Модель ВАР с переменными параметрами | 0,86 | 3,50 % |
| Трехслойный персептрон | 0,61 | 7,86 % |
| Модель Сугено с векторной авторегрессией | 0,65 | 5,31 % |
| Модель Сугено с трехслойным персептроном | 0,65 | 5,03 % |

Заклучение

Результаты сравнения моделей, представленные в табл. 2, показывают работоспособность и очевидное преимущество модели многомерного нестационарного временного ряда температур в условиях неоднородности статистических данных перед другими подходами к моделированию нестационарной динамики.

Главным результатом проведенного исследования можно считать экспериментальное обоснование возможности использования рассматриваемой модели для анализа динамики нестационарных процессов в метеорологии.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 12-07-00252, № 13-08-00532, а также Программы стратегического развития ВГУ.

Список литературы

1. **Гребенюк Е. А.** Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств // *Автоматика и телемеханика*. 2005. № 12. С. 3—29.
2. **Восканян К. Л., Кузнецов А. Д., Сероухова О. С., Симанина Т. Е.** К вопросу о выделении аддитивных составляющих временного ряда приземной температуры воздуха // *Ученые записки РГГМУ*. 2013. № 32. С. 55—65.
3. **Govindana R. B., Armin Bunde, Shlomo Havlin.** Volatility in atmospheric temperature variability // *Physica A*. 2003. P. 529—536.
4. **Матвеев М. Г., Михайлов В. В., Семенов М. Е., Сирота Е. А.** Модель анализа динамики векторного метеорологического процесса // *Вестник ВГУ. Сер. "Системный анализ и информационные технологии"*. 2013. № 1. С. 89—95.
5. **Комышенко Г. А.** Оценка пространственно-временной однородности рядов температуры воздуха Беларуси // *Природопользование*. 2011. Вып. 20. С. 26—33.
6. **NCEP/DOE AMIP II Reanalysis** [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html>
7. **Матвеев Л. Т.** Курс общей физики атмосферы. 2-е изд. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 687 с.
8. **Айвазян С. А.** Основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 2001. 656 с.
9. **Матвеев М. Г., Михайлов В. В., Семенов М. Е.** Использование модели Сугено для прогнозирования метеорологических показателей // *Вестник ВГУ. Сер. "Системный анализ и информационные технологии"*. 2011. № 2. С. 164—169.

M. G. Matveev, Professor, **E. A. Sirota**, Associate Professor, e-mail: sirota_ea@sc.vsu.ru
Voronezh State University

Development and Research of Statistical Models of Unsteady Multidimensional Time Series of Atmospheric Temperature Conditions Heterogeneity

In this paper we study, construction and analysis of models of vector autoregression (VAR) with variable parameters, continuously dependent on changes in the atmosphere, to describe the multi-dimensional non-stationary time series of temperature conditions heterogeneity statistics. In this paper we have considered a model of mean daily temperature changes in the nodes flat grid above the ground. On the set of basic statistical data in the vicinity of a given node is proposed procedure for constructing homogeneous classes on the basis of statistics and postulating uniformity of physical conditions and verification of these conditions on measurable criteria. Next to these classes of homogeneous statistics carried out the construction of models VAR temperatures and conducted according to the approximation of the model parameters from the VAR state of the atmosphere. The main result of this study can be considered an experimental study the possibility of using this model to analyze the dynamics of unsteady processes in meteorology.

Keywords: multi-dimensional non-stationary time series, meteorology, vector autoregression, temperature trend, modeling classes homogeneous statistic

References

1. **Гребенюк Е. А.** Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств. *Автоматика и телемеханика*. 2005. № 12. С. 3—29.
2. **Восканян К. Л., Кузнецов А. Д., Сероухова О. С., Симанина Т. Е.** К вопросу о выделении аддитивных составляющих временного ряда приземной температуры воздуха. *Ученые записки рггму*. 2013. № 32. С. 55—65.
3. **Govindana R. B., Armin Bunde, Shlomo Havlin.** Volatility in atmospheric temperature variability. *Physica A*. 2003. P. 529—536.
4. **Matveev M. G., Mixajlov V. V., Semenov M. E., Sirota E. A.** Model analiza dinamiki vektornogo meteorologicheskogo processa. *Vestnik voronezh. gos. un-ta. Ser. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii*. 2013. № 1. С. 89—95.
5. **Комышенко Г. А.** Оценка пространственно-временной однородности рядов температуры воздуха Беларуси. *Природопользование*. 2011. Вып. 20. С. 26—33.
6. **NCEP/DOE AMIP II Reanalysis** [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html>
7. **Matveev L. T.** *Kurs obshhej fiziki atmosfery*. 2-e izd. L: Gidro-meteoizdat, 1984. 687 p.
8. **Ajvazyan S. A.** *Osnovy ekonometriki*. M.: YUNITI, 2001. 656 c
9. **Matveev M. G., Mixajlov V. V., Semenov M. E.** Ispolzovanie modeli sugeno dlya prognozirovaniya meteorologicheskix pokazatelej. *Vestnik VGU. Ser. "Sistemnyj analiz i mformacionnye tehnologii"*. 2011. № 2. С. 164—169.

Р. Э. Асратян, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., e-mail: gea@ipu.ru
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва

Организация распределенной обработки информационных запросов в мультисерверной сетевой среде

Рассмотрены принципы организации сетевого протокола, обеспечивающего возможность распределенной обработки одного информационного запроса в цепочке из нескольких серверов. Описываемый подход представляет собой "сетевое" обобщение известного механизма "конвейера" (pipe) и ориентирован на обмен сообщениями между программами-обработчиками на разных сетевых узлах на основе стандартных ввода и вывода обрабатывающих процессов.

Ключевые слова: распределенные системы, Web-технологии, Интернет-технологии, информационное взаимодействие

Введение

Еще несколько лет назад казалось, что сетевой архитектуре .NET на базе электронных сервисов, опирающихся на технологии WS и WCF, удалось занять почти монопольное положение в разработках распределенных информационно-управляющих систем. Этому способствовала мощная и многоязыковая поддержка этой архитектуры в целом ряде современных систем программирования (MS Visual Studio, Borland C++ builder, Oracle developer suit и т. п.) и Web-серверов (IIS, Apache, Oracle HTTP server). Безусловно, важную роль сыграли и удачные сетевые стандарты WSDL и SOAP, сопровождающие жизненный цикл сетевых приложений от разработки до эксплуатации [1, 2].

Тем не менее в последние годы появилась тенденция поиска альтернатив технологиям WS и WCF в разработках распределенных систем. В качестве основных причин можно назвать:

- возрождение интереса к традиционной для классического HTTP модели взаимодействия на основе обмена сообщениями вместо характерной для архитектуры .NET модели, основанной на вызове методов удаленных объектов;
- признание слишком ограничительным требования "отсутствия состояний" (*stateless*) на стороне серверных компонент, характерного для протокола HTTP и унаследованного протоколом SOAP;
- отсутствие встроенного механизма межсерверного взаимодействия, обеспечивающего возможность распределенной обработки одного информационного запроса не в одном, а в цепочке из нескольких серверов.

Рассмотрим ситуацию, когда клиент посылает сложный (включающий десятки параметров) информационный запрос электронному сервису и получает в результате текстовый документ отчета, к которому могут быть приложены один или несколько графических документов. С ростом сложности информационных запросов разработчики все чаще выбирают формат XML-документа как для представления параметров запроса, так и для представления результатов его выполнения. Модель обмена текстовыми и двоичными сообщениями представляется в данном случае более простой и адекватной, чем модель вызова удаленных методов через SOAP. Во всяком случае она позволяет избежать явной избыточности, связанной с упаковкой XML-документов в объемлющую SOAP-структуру (например, к перекодировке всех символов "<" в последовательности "<" и т. п., а при наличии графических приложений к документу — к обязательной текстовой кодировке base64).

Требование отсутствия состояний означает, что клиент, посылающий последовательность запросов к электронному сервису, не "знает", обрабатывает ли его запросы один и тот же серверный процесс (программная нить) или всякий раз разные. Это остается вне его контроля. Взаимодействие с сохранением состояния (*stateful*) подразумевает, что клиент устанавливает соединение с сервисным процессом, после чего вступает с ним в диалог произвольного "формата", основанный на обмене сообщениями. Если вернуться к нашему примеру, то диалог со стороны клиента мог бы выглядеть так: "получи параметры запроса и передай мне текстовый отчет",

"передай первое графическое приложение", "передай следующее графическое приложение", ..., "заканчиваю диалог". Разумеется, подобная последовательность запросов могла бы быть реализована и в рамках *stateless*-взаимодействия, но с большими накладными расходами (регистрация запроса/ответа с генерацией уникального номера, временное сохранение результатов в базе данных или в файловой системе и т. п.).

Идея взаимодействия с сохранением состояния положена в основу относительно новой технологии WebSockets, которая представляет собой обобщение классического протокола HTTP в направлении организации протяженного во времени диалога между клиентским и сервисным процессами в форме двунаправленного обмена сообщениями [3]. Интерес, проявленный к этой технологии сразу несколькими ведущими разработчиками программного обеспечения, подтверждает перспективность этого направления.

В данной работе рассматривается другой подход к организации обмена сообщениями между клиентским и серверными процессами в форме *stateful*-взаимодействия. Как и технологию Web Socket, его можно рассматривать как модернизацию классического HTTP, но, в отличие от известных подходов, он позволяет организовать постоянный канал взаимодействия между клиентом и цепочкой из нескольких сервисных программ на различных сетевых узлах. Каждое сообщение, отправленное клиентом, проходит последовательную обработку в цепочке сервисных процессов, а результат обработки последним процессом в цепочке возвращается клиенту. Важная особенность подхода заключается в том, что серверные процессы "не подозревают", что участвуют в сетевом взаимодействии: они просто считывают каждое входящее сообщение со своего стандартного ввода и записывают результат обработки в свой стандартный вывод. Таким образом, данный подход можно рассматривать и как своего рода "сетевое" обобщение понятия "трубопровода" (*pipe*) — известного механизма, позволяющего соединить несколько процессов через стандартные входы и выходы в пределах одного узла.

В отличие от HTTP, Telnet, WebSocket и прочих распространенных прикладных протоколов данный механизм взаимодействия опирается не непосредственно на базовый протокол TCP [4, 5], а на специализированную сетевую службу RECS [6], обеспечивающую создание канала взаимодействия между клиентом и цепочкой серверных программ в форме неструктурированного двунаправленного потока байтов.

Краткие сведения о RECS

Механизм "трубопровода" или "конвейера", впервые реализованный в системе UNIX, остается одним из основных средств соединения возможностей нескольких программ для решения общей задачи [7]. В большинстве командных процессоров этот механизм представляется в форме составной командной строки вида

$$\mathbf{Cmd}_1|\mathbf{Cmd}_2|\dots|\mathbf{Cmd}_n,$$

в которой каждый компонент \mathbf{Cmd}_i представляет собой команду вызова какого-то локального модуля-обработчика. Предполагается, что стандартный вывод \mathbf{Cmd}_i соединяется со стандартным вводом \mathbf{Cmd}_{i+1} ($i = 1, 2, \dots, n - 1$). На поведение каждого обработчика накладывается единственное ограничение: он должен читать входные данные со стандартного ввода и писать выходные данные в стандартный вывод.

Интернет-служба RECS (*Remote Executables Call Service* — служба удаленного вызова исполняемых модулей) основана на той же идее межпроцессного взаимодействия через стандартные входы и выходы, но со следующими важными отличиями.

- RECS является сетевой службой. Для организации трубопровода программа-клиент обращается к обслуживающему ее RECS-серверу и передает ему составную командную строку вида $\mathbf{Cmd}_1, \mathbf{Cmd}_2, \dots, \mathbf{Cmd}_n$ для исполнения.
- Каждый компонент \mathbf{Cmd}_i представляет собой или просто команду запуска исполняемого модуля на обслуживающем сервере, или конструкцию вида "имя_сервера@команда", или даже "имя_сервера@(команда₁, команда₂, ..., команда_n)", предполагающую запуск одного или нескольких исполняемых модулей на удаленном сервере с заданным Интернет-именем. При этом каждая "команда" может, в свою очередь, представлять собой такую же конструкцию с именем другого сервера и списком команд и т. д.

Другими словами, RECS позволяет программе-клиенту осуществить одновременный вызов сразу нескольких исполняемых модулей (обработчиков), расположенных на разных сетевых узлах. В момент вызова непосредственно обслуживающий клиента RECS-сервер организует запуск указанных обработчиков на собственном узле и/или на удаленных узлах (разумеется, также оснащенных RECS-серверами). В тот же момент усилиями всех задействованных серверов создается множество "каналов", попарно соединяющих запущенные обработчики по принципу "стандартный вывод предыдущего со стандартным вводом следующего". Конечно же, стандартный ввод первого обработчика и стандарт-

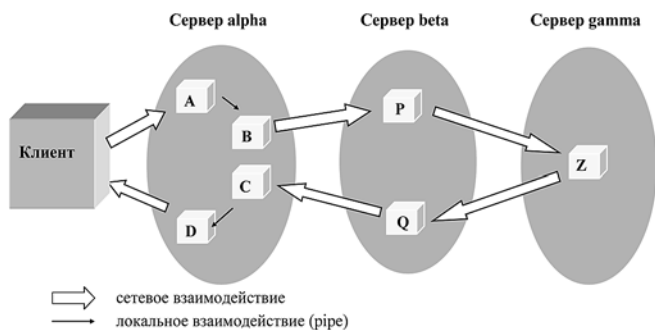


Рис. 1. Обработка в мультисерверной среде

ный вывод последнего соединяются с клиентом. С этого момента все отправленные клиентом данные будут проходить последовательную обработку во всех запущенных исполняемых модулях, а результирующие данные будут немедленно направляться клиенту по мере их появления. На содержание данных (текстовые или двоичные) и последовательность их отправки и приема не накладывается никаких ограничений (хотя, разумеется, поведение клиентов должно быть логически согласовано с поведением обработчиков). На рис. 1 проиллюстрирована структура информационных связей в многосерверной среде при обработке командной строки

A, B, beta@(P, gamma@Z, Q), C, D

Предполагается, что сервер **alpha** является обслуживающим клиента сервером, а заглавные латинские буквы являются именами исполнительных модулей. Важно отметить, что в данном примере серверы **beta** и/или **gamma** могли бы быть недоступны непосредственно для клиента. Например, клиент мог бы быть расположен в частной сети организации, а указанные серверы — вне нее. В этом случае серверу **alpha** фактически выпала бы роль сервера-посредника, расположенного на границе двух сетей.

Понятие обобщенного "канала взаимодействия", соединяющего обработчики друг с другом (а также крайние обработчики с клиентом), является основополагающим для RECS. Хотя для его организации в разных ситуациях используются разные технологии ("трубопровод" (*pipe*), если соединяемые обработчики находятся на одном узле, и межсерверное сетевое взаимодействие, если на разных узлах), у пользователя создается иллюзия единого связующего механизма, достаточно ясного и простого в обращении.

Короткий пример применения RECS

Как и всякая сетевая служба, основанная на TCP/IP [4, 5], RECS поддержан клиентским и сер-

верным программным обеспечением (ПО). Сервер RECS представляет собой постоянно активную программу, обслуживающую запросы на обработку от клиентов или других серверов. Клиентское ПО представляет собой библиотеку функций, реализующих прикладной программный интерфейс (API) к RECS. Этот интерфейс является "лицом" RECS с точки зрения пользователя.

Рассмотрим короткий пример кода на языке C++, в котором клиентская программа обращается к обслуживающему серверу на платформе Win32с для вычисления контрольной суммы всех файлов в каталогах C:\WINDOWS\system32 и C:\WINDOWS\system на этом сервере (например, в целях проверки, изменилось ли содержимое этих каталогов или нет). Предположим, что на этом сервере имеется обработчик **filelist.exe**, который получает на стандартный ввод имя каталога и записывает в стандартный вывод построчный список всех содержащихся в нем файлов и их контрольных сумм, причем полное имя каждого файла и его контрольная сумма выводятся в отдельной строке. Для вычисления общей контрольной суммы программа привлекает еще один сервер (с именем **unode**) на платформе UNIX или Linux, чтобы использовать уже имеющиеся в нем широко известные программы-обработчики **sort** и **md5sum**, обеспечивающие сортировку полученного списка и формирование 32-байтовой контрольной суммы от этого списка, соответственно, с отправкой результата в стандартный вывод. Разумеется, мы предполагаем, что оба сервера оснащены серверным ПО RECS (которое в настоящее время реализовано как в форме сервиса для платформы Win32, так и в форме "демона" для платформы UNIX/Linux).

```
char Checksum [32];
RECSclnt Rcln;
Rcln.Config("alpha", 8130,"alibaba","sezam");
Rcln.Connect();
Rcln.Process("filelist.exe, unode$(sort, md5sum)");
Rcln<<"c:\\windows\\system";
Rcln.GetLine(Checksum, 32);
cout<<Checksum<<"\n" "<<Rcln.GetSysMsg()<<"\n";
Rcln<<"c:\\windows\\system32";
Rcln.GetLine(Checksum, 32);
cout<<Checksum<<"\n" "<<Rcln.GetSysMsg()<<"\n";
Rcln.Quit();
Rcln.Disconnect();
```

Первые две строки определяют две переменные: строковую переменную и объект класса **RECSclnt**. Этот класс содержит в себе все методы, необходимые клиенту для работы с RECS. Третья строка (метод **Config**) настраивает объект на работу с опре-

деленным RECS-сервером. В качестве параметров объекту передаются IP-адрес (или Интернет-имя) сервера, номер порта, имя и пароль пользователя (RECS-сервер обслуживает только зарегистрированных пользователей).

Четвертая строка устанавливает TCP-соединение с сервером, а пятая — запускает три удаленных обработчика (с помощью метода **Process**). Первый из них (**filelist.exe**) запускается непосредственно на обслуживаемом сервере, а два других (**sort** и **md5sum**) — на сервере **unode**. Сразу после запуска все серверы переходят к ожиданию появления данных на их стандартных вводах.

Шестая, седьмая и восьмая строки обеспечивают передачу на сервер имени первого каталога, считывание результата обработки (метод **GetLine**) и вывод на экран полученной контрольной суммы вместе с итоговым диагностическим сообщением сервера.

Три последующие строки повторяют операцию вычисления контрольной суммы для второго каталога.

Предпоследняя строка извещает сервер о завершении диалога (он мог бы продолжаться неограниченно), а последняя прекращает сетевое соединение. Метод **Quit** вызывает последовательное закрытие стандартного ввода во всех обработчиках и завершение их работы.

Разумеется, из данного фрагмента кода намеренно удалены операторы проверки успеха выполнения методов и обработки исключений.

Принципы организации межсерверного конвейера сообщений

Сетевой протокол МКС (межсерверный конвейер сообщений) представляет собой "надстройку" над RECS в направлении обменов форматированными сообщениями вместо обменов неформатированными потоками байтов.

Как и в HTTP, МКС-сообщение состоит из текстового заголовка и тела (текстового или двоичного), разделенных пустой строкой. Заголовок содержит общие характеристики сообщения (длина, тип и т. п.), а тело — собственно данные. Но на этом сходство с HTTP заканчивается. Формат сообщения МКС приспособлен к последовательной обработке в цепочке обработчиков, в которой выходное сообщение каждого обработчика может быть входным для следующего. Другими словами, по формату сообщения не подразделяются на "запрос" и "ответ": входные и выходные сообщения имеют одинаковый формат.

Две строки заголовка являются обязательными и имеют тот же смысл, что и в HTTP:

Content-len=длина_сообщения

Content-type=тип_сообщения [; charset=кодировка]

Остальные строки являются опциональными и используются для размещения списка итоговых диагностических сообщений всех задействованных программ обработчиков, отображающего "историю" обработки. Каждая программа-обработчик имеет возможность добавить в этот список свое сообщение в форме:

**Processed=дата_и_время
имя_сервера@имя_обработчика
код_завершения [текст_сообщения]**

Рассмотрим короткий пример, иллюстрирующий работу МКС в мультисерверной и мультисетевой среде для организации удаленного взаимодействия (рис. 2).

Как видно из рисунка, рассматриваемая сетевая структура включает две локальные частные сети организаций (LAN_1 и LAN_2), каждая из которых соединена с глобальной сетью с помощью "пограничного" сервера с двумя сетевыми интерфейсами (серверы **protector1** и **protector2** соответственно). Мы рассмотрим принципы организации защищенного информационного запроса от клиентской программы, работающей на рабочей станции PC1 в LAN_1 , к сервисной программе **report.exe** на сервере приложений **app1** в LAN_2 с помощью МКС. При этом мы будем исходить из следующих предположений.

- Прямое сетевое соединения между программами, функционирующими в LAN_1 , и программами, функционирующими в LAN_2 , невозможно.
- Серверы **protector1**, **protector2**, **app1**, ..., **appN** оснащены серверным программным обеспечением МКС.
- При прохождении сообщения (запроса и ответа) через глобальную сеть оно должно быть защи-

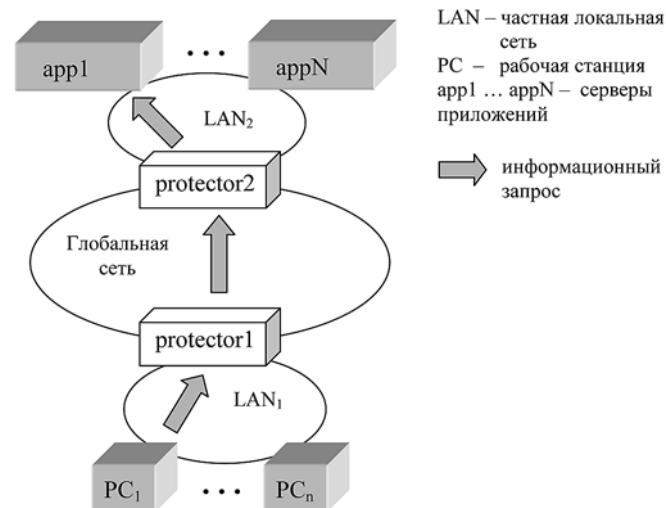


Рис. 2. Обработка информационного запроса в мультисетевой среде

шено от искажений электронной подписью организации-отправителя.

- На серверах **protector1** и **protector2** имеются программы-обработчики для централизованной регистрации информационных запросов (**registr.exe**), для формирования электронной подписи организации у сообщений, исходящих из соответствующей локальной сети (**sign.exe**), а также для проверки электронной подписи у сообщений, входящих в локальную сеть (**check.exe**).

Ниже приведен фрагмент кода клиентской программы, реализующей отправку информационного запроса из одной частной сети в другую.

```
char Request [] = "<request>... </request>";
char *Type, *Reply, *MsgList;
MMCclnt Mcln;
Mcln.Config("protector1", 8130, "alibaba", "sezam");
Mcln.Connect();
Mcln.Process("registr.exe, sign.exe, protector2$
(check.exe, app1$report.exe, sign.exe), check.exe");
Mcln.SendMsg("text/xml", Request);
Mcln.GetMsg(&Type, &MsgList, &Reply);
...
//Обработка результата (Reply)
...
Mcln.Quit();
Mcln.Disconnect();
```

В первых трех строках фрагмента кода определены переменные: строка информационного запроса (**Request**), а также три указателя (**Type**, **Reply** и **MsgList**) для приема ответа (типа, тела и списка сообщений программ-обработчиков соответственно). Кроме того, там же определена переменная **Mcln** класса **MMCclnt**, являющегося производным классом от **RECSclnt** и содержащего дополнительную функциональность, связанную с обработкой сообщений.

Как видно из последующих строк кода, программа-клиент использует **protector1** в качестве обслуживающего сервера. После установления сетевого соединения метод **Process** используется для запуска цепочки обработчиков на узлах **protector1**, **protector2** и **app1**. Сразу после отправки запроса (метод **SendMsg**) последний обрабатывается программой-регистратором (**registr.exe**), после чего поступает на вход генератора электронной подписи (**sign.exe**). Подписанный запрос передается в сервер **protector2** через глобальную сеть, в котором осуществляется проверка (и удаление) электронной подписи (**check.exe**) и передача запроса на вход обработчика **report.exe** на сервере приложений **app1**. Далее результат выполнения запроса снова передается на сервер **protector2** для формирования электронной подписи (**sign.exe**), которая проверяется на сервере **protector1** (**check.exe**) после передачи результата через глобальную сеть.

Клиент получает результат выполнения запроса с помощью метода **GetMsg**. После завершения его выполнения переменные **Type**, **Reply** и **MsgList** получают значение указателей на код типа сообщения, тело сообщения (собственно результат выполнения запроса) и список диагностических сообщений всех задействованных программ-обработчиков соответственно.

Заключение

Протокол МКС поддержан двумя библиотеками функций: клиентской и серверной. Благодаря тому что взаимодействие в данном случае осуществляется "поверх" сетевой службы RECS (а не непосредственно "поверх" TCP), обе библиотеки вовсе не содержат вызовов специфических "сетевых" функций (типа connect, listen, accept и т.п.). Разумеется, клиентская библиотека МКС включает в себя клиентскую библиотеку RECS и использует определение класса RECSclient и его методы. Серверная же библиотека МКС имеет дело исключительно со стандартным вводом и выводом процесса-обработчика и обеспечивает выделение сообщений из входного потока байтов и формирование сообщений в выходном потоке.

К важным преимуществам описанного подхода относится удобство отладки сервисных программ: каждая такая программа допускает автономную отладку вне сетевой среды, основанную на подаче тестового потока байтов на стандартный ввод и анализе стандартного вывода.

Важно отметить, что описанный подход базируется на создании отдельного процесса (задачи) для запуска каждой из программ-обработчиков. К сожалению, использование программных потоков (нитей) для той же цели оказывается невозможным, так как все программные потоки в пределах одной задачи разделяют одни и те же стандартный ввод и стандартный вывод (здесь имеется прямая аналогия с технологией CGI, испытывающей то же ограничение). Отсюда вытекает существенный недостаток описанного подхода — проигрыш в скорости обработки технологиям типа WS и WCF, имеющим возможность опираться на программные потоки. Этот проигрыш связан с накладными расходами на управление процессами на серверах и проявляется в тем большей степени, чем короче время выполнения информационного запроса. Поэтому область эффективного применения описанного подхода включает взаимодействия, связанные с достаточно большими объемами передаваемой информации и достаточно длительной обработкой (например, поиск информации в СУБД, удаленное формирование отчетов и т. п.). Наоборот, попытка реализовать на его основе что-то вроде службы имен (DNS) вряд ли была бы оправданной.

Список литературы

1. **Шапошников И. В.** Web-сервисы Microsoft .NET. СПб: БХВ-Петербург, 2002. 336 с.
2. **Мак-Дональд М., Шпушта М.** Microsoft ASP.NET 3.5 с примерами на C# 2008 и Silverlight 2 для профессионалов. М.: Вильямс, 2009. 1408 с.
3. **Wang V., Salim F., Moskovits P.** The definitive guide to HTML5 WebSockets. NY: Apress, 2013. 208 p.
4. **Хант К.** TCP/IP. Сетевое администрирование. СПб.: Питер, 2007. 816 с.
5. **Снейдер Й.** Эффективное программирование TCP/IP. Библиотека программиста. СПб.: Символ-Плюс, 2002. 320 с.
6. **Асратян Р. Э.** Интернет-служба для поддержки распределенных вычислений // Информационные технологии. 2006. № 12. С. 60–66.
7. **Келли-Бутл С.** Введение в Unix. М.: ЛОРИ, 1995. 596 с.

R. E. Asratian, Leading Researcher, e-mail: rea@ipu.ru,
Institute of Control science RAS

Distributed Processing of Data Queries in Multi-Server Network Environment

The principles of the organization of the network protocol providing possibility of distributed processing of one query in a chain of several servers are considered. Described approach represents "network" generalization of the known mechanism of "pipe" and is focused on an exchange of messages between programs running on different network nodes on the basis of standard input and output datasets of processing tasks.

Keywords: distributed systems, Web-technologies, Internet technologies, remote interactions

References

1. **Shaposhnikov I. V.** Web-servisy Microsoft .NET. SPb: BHV-Peterburg, 2002. 336 p.
2. **Мак-Дональд М., Шпушта М.** Microsoft ASP.NET 3.5 s primerami na C# 2008 i Silverlight 2 dlja professionalov. M.: Vil'jams, 2009. 1408 p.
3. **Wang V., Salim F., Moskovits P.** The definitive guide to HTML5 WebSockets. NY: Apress, 2013. 208 p.
4. **Hant K.** TCP/IP. Setevoe administrirovanie. SPb.: Piter, 2007. 816 p.
5. **Snejder J.** Jeffektivnoe programmirovanie TCP/IP. Biblioteka programmista. SPb.: Simvol-Pljus, 2002. 320 p.
6. **Asratian R. E.** Internet-sluzhba dlja podderzhki raspredelernykh vychislenij. Informacionnye tehnologii. 2006. N. 12. P. 60–66.
7. **Kelli-Butl S.** Vvedenie v Unix. M.: LORI, 1995. 596 p.

ИНФОРМАЦИЯ



С 17 по 19 апреля 2015 г. в Москве, в МГТУ им. Н. Э. Баумана
состоится международная конференция

"УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ" (ICIPCE—2015)

Организаторы конференции:

- Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
- Нанкинский политехнический университет (NJUST), и Научно-инженерный институт (SCIEI).

Сопредседатели программного комитета конференции:

проф. А. А. Александров и проф. Ван Сяофэн

Научные направления конференции

- Инженерные решения задач управления подвижными объектами
- Современные информационные технологии
- Системы ориентации, стабилизации и навигации
- Состояние и перспективы развития теории и систем управления
- Компьютерные системы и сети
- Бортовое и наземное инженерное оборудование и перспективы его совершенствования
- Современные педагогические концепции в мировом образовательном пространстве

Подробную информацию о конференции см. на сайте:

<http://icipce.org/Russian.html>

УДК 004 + 004.07 + 001.83

Ю. И. Шокин¹, д-р физ.-мат. наук, проф., e-mail: dir@ict.nsc.ru,
А. Ю. Веснин², д-р физ.-мат. наук, чл. корр. РАН, зав. лаб., e-mail: vesnin@math.nsc.ru,
А. А. Добрынин², канд. физ.-мат. наук, доц., ст. науч. сотр., e-mail: dobr@math.nsc.ru,
О. А. Клименко¹, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., e-mail: klimenko@ict.nsc.ru,
Е. В. Рычкова¹, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., e-mail: helen@ict.nsc.ru

¹ Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

² Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск

E-mail: shokin@ict.nsc.ru

Анализ веб-пространства академических сообществ методами вебометрики и теории графов*

Исследуется веб-пространство двух академических сообществ: Сибирского отделения РАН и Общества Фраунгофера в Германии. Методами вебометрики и теории графов проводится анализ сайтов научных организаций и связей между ними. Строятся рейтинги сайтов, проводится сравнение численных и структурных характеристик академических сообществ в веб-пространстве.

Ключевые слова: веб-пространство, вебометрика, теория графов, сильно связанная компонента графа, клика графа

Введение

В данной работе под веб-пространством понимаются сайты и гиперссылки между ними. Для изучения веб-пространства используются методы вебометрики — современного раздела информатики, объектом изучения которого являются информационные ресурсы, структура и технологии Интернета. Развитие этого направления началось в 1997 г. после выхода работы Т. Алминда и П. Ингверсена [1]. Методы вебометрики носят статистический характер и не дают описания всего разнообразия информационных процессов, происходящих в веб-пространстве. Поэтому для анализа структуры веб-пространства привлекаются и другие методы, в частности методы теории графов. Значительное число работ посвящено исследованию веб-пространств, порождаемых сайтами университетов и академических научных организаций (см., например, [2—8]). В настоящей работе изучаются веб-пространства сайтов научных организаций Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН) и научных организаций, объединенных в Общество Фраунгофера в Германии (ОФ). Для указанных веб-пространств определены рейтинги входящих в них сайтов, проведено сравнение их численных и структурных характеристик.

* Работа выполнена при поддержке Президиума СО РАН в рамках междисциплинарного интеграционного проекта № 21, 2012—2014 гг., и РФФИ (проект № 12-01-00631).

1. Применение методов вебометрики для определения рейтинга научной организации

Начиная с 2008 г. в Институте вычислительных технологий СО РАН строятся рейтинги сайтов научных организаций Сибирского отделения РАН [4, 5, 9]. Для нахождения рейтингов используется методика из [10]. По этой методике для оценки сайтов используются следующие параметры:

V — видимость сайта. Его значение равно числу внешних ссылок с других сайтов на данный ресурс. Этот параметр вычисляется посредством усреднения числа внешних ссылок, найденных с помощью поисковых систем Яндекс [11], Google [12] и Bing [13]:

$$V = [V_{\text{Яндекс}} + V_{\text{Google}} + V_{\text{Bing}}]/3;$$

S — размер сайта. Значение **S** равно числу веб-страниц сайта, определяемому поисковыми системами. Так как поисковые системы не всегда корректно определяют число веб-страниц, то значение данного параметра может отличаться от реального размера сайта. Параметр **S** вычисляется усреднением значений размера сайта, получаемых с помощью указанных выше поисковых систем: $S = [S_{\text{Яндекс}} + S_{\text{Google}} + S_{\text{Bing}}]/3;$

R — насыщенность сайта. Этот параметр определяется как суммарное число файлов форматов Adobe Acrobat (.pdf), Microsoft Word (.doc) и Micro-

soft Powerpoint (.ppt), обнаруженных на сайте поисковыми системами: $R = [R_{\text{Яндекс}} + R_{\text{Google}}]/2$;

Sc — индекс цитирования, полученный из систем Индекс цитирования каталога Яндекса [14] и Google Scholar [15]. Этот параметр является мерой значимости сайта.

Определение рейтинга сайтов научных организаций включает следующие этапы.

1. Вычисление значений параметров видимости V , размера S и насыщенности R для каждого исследуемого сайта.

2. Ранжирование значений параметров V , S , R . Массив значений параметра, например V , для всех сайтов упорядочивается по убыванию. Сайту, имеющему максимальное значение V , присваивается ранг $V_r = 1$. Сайтам с одинаковыми значениями V присваиваются одинаковые ранги. Аналогичным образом вычислялись ранги S_r и R_r параметров S и R .

3. Вычисление ранга Sc_r индекса цитирования Sc . Вначале независимо вычисляются ранги для $Sc_{\text{Яндекс}}$

и Sc_{Google} . Затем для каждого сайта полученные ранги суммируются, и величина Sc_r определяется ранжированием этих сумм. Сайт с наименьшей суммой получает ранг $Sc_r = 1$.

4. Суммирование определенных выше рангов для каждого исследуемого сайта:

$$W = V_r + S_r + R_r + Sc_r.$$

5. Рейтинг сайтов формируется упорядочением значений W по возрастанию. Таким образом, итоговый ранг (позиция в текущем рейтинге) будет тем выше, чем меньше значение W . Сайтам с одинаковыми значениями W присваиваются одинаковые ранги.

В табл. 1 приводятся сайты научных организаций СО РАН, находящиеся на первых 15 местах в рейтинге (в столбце Sc приведено значение только из Google Scholar). Рейтинг всех 95 сайтов веб-пространства СО РАН представлен в [16]. Аналогично в табл. 2 указаны первые 15 сайтов из рейтинга сай-

Таблица 1

Рейтинг сайтов организаций СО РАН

| Рейтинг | Организация | Адрес сайта | V | S | R | Sc |
|---------|---|----------------------|--------|---------|--------|-----|
| 1 | Портал СО РАН | www.sbras.ru | 54 863 | 73 363 | 10 438 | 620 |
| 2 | Институт вычислительных технологий СО РАН | www.ict.nsc.ru | 68 067 | 107 935 | 795 | 154 |
| 2 | Институт цитологии и генетики СО РАН | www.bionet.nsc.ru | 6046 | 9197 | 1653 | 258 |
| 4 | Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН | www.inp.nsk.su | 23 608 | 5850 | 2355 | 149 |
| 5 | Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН | www.math.nsc.ru | 4226 | 7233 | 1337 | 182 |
| 5 | Институт вычислительного моделирования СО РАН | icm.krasn.ru | 4915 | 5743 | 5751 | 474 |
| 7 | Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН | www.spsl.nsc.ru | 5110 | 7653 | 418 | 136 |
| 8 | Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН | www.iis.nsk.su | 2352 | 13 562 | 592 | 105 |
| 9 | Отделение ГПНТБ СО РАН | www.prometeus.nsc.ru | 4897 | 12 370 | 241 | 94 |
| 10 | Институт автоматизации и электротехники СО РАН | www.iae.nsk.su | 2815 | 3983 | 3393 | 24 |
| 11 | Институт проблем освоения Севера СО РАН | www.ipdn.ru | 3637 | 9320 | 1541 | 57 |
| 12 | Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН | www.nioch.nsc.ru | 1789 | 4733 | 2384 | 16 |
| 13 | Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН | www.catalysis.ru | 13 441 | 178 713 | 153 | 12 |
| 14 | Президиум СО РАН | www.sbras.nsc.ru | 5347 | 11 827 | 1489 | 0 |
| 15 | Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН | www.kirensky.ru | 1424 | 3264 | 835 | 31 |

Таблица 2

Рейтинг сайтов организаций Общества Фраунгофера

| Рейтинг | Организация | Адрес сайта | V | S | R | Sc |
|---------|---|-------------------------|------|--------|------|-----|
| 1 | Fraunhofer Headquarters | www.fraunhofer.de | 7209 | 16 333 | 1247 | 624 |
| 2 | The Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research | www.isi.fraunhofer.de | 1548 | 3534 | 1449 | 464 |
| 3 | The Fraunhofer Institute for Open Communication Systems | www.fokus.fraunhofer.de | 1165 | 2456 | 588 | 298 |
| 4 | The Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation | www.ipa.fraunhofer.de | 1131 | 4565 | 488 | 143 |
| 5 | The Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics | www.itwm.fraunhofer.de | 984 | 3017 | 865 | 212 |
| 6 | The Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems | www.ise.fraunhofer.de | 2183 | 6495 | 543 | 243 |
| 7 | The Fraunhofer Institute for Industrial Engineering | www.iao.fraunhofer.de | 1287 | 2199 | 435 | 165 |
| 7 | The Fraunhofer Institute for Laser Technology | www.ilt.fraunhofer.de | 1072 | 2343 | 784 | 130 |
| 9 | The Fraunhofer Institute for Integrated Circuits | www.iis.fraunhofer.de | 4806 | 2309 | 669 | 521 |
| 10 | The Fraunhofer Institute for Information Center for Planning and Building | www.irb.fraunhofer.de | 2163 | 21 078 | 125 | 95 |
| 11 | The Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation | www.iff.fraunhofer.de | 1319 | 2158 | 301 | 52 |
| 12 | The Fraunhofer Institute for Algorithms and Scientific Computing | www.scai.fraunhofer.de | 798 | 2116 | 490 | 206 |
| 13 | The Fraunhofer Institute for Building Physics | www.ibp.fraunhofer.de | 985 | 1519 | 695 | 83 |
| 14 | The Fraunhofer Institute for Intelligent Analysis and Information Systems | www.iais.fraunhofer.de | 938 | 2147 | 220 | 107 |
| 15 | The Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology | www.iwes.fraunhofer.de | 821 | 2947 | 391 | 63 |

тов научных организаций Общества Фраунгофера. Рейтинг всех 72 сайтов веб-пространства ОФ приводится в [17].

Сравнительный анализ значений параметров V , S , R и Sc для сайтов научных организаций СО РАН и Общества Фраунгофера позволяет сделать следующие выводы.

Для 23 сайтов в СО РАН и для 18 сайтов в ОФ число внешних ссылок на сайт превышает 1000. Таким образом, 24 % сайтов в СО РАН и 25 % сайтов в ОФ имеют достаточно много внешних ссылок. Более 100 веб-страниц содержат 84 % сайтов в СО РАН и 95 % сайтов в ОФ. Насыщенность сайтов как в СО РАН, так и в ОФ тоже очень близка: число сайтов с параметром R , превышающим 100, для СО РАН равно 43, а для ОФ — 48. По индексу цитирования Google Scholar сайты Общества Фраунгофера существенно опережают сайты СО РАН: число сайтов с параметром Sc , превышающим 10, для СО РАН равно 36 (38 %), а для ОФ — 66 (92 %).

2. Анализ связей между научными организациями методами теории графов

2.1. Веб-графы сайтов научных организаций

Так как отношение, определяемое наличием ссылок между сайтами, является бинарным, то для его анализа естественно использовать методы теории графов [18–20]. Далее рассматриваются два веб-графа G и R , вершинам которых соответствуют сайты научных организаций Общества Фраунгофера и научных организаций СО РАН соответственно. Отношение между сайтами в каждом графе задается наличием ссылок между ними. Дуга графа выходит из вершины v и входит в вершину u , если сайт, соответствующий вершине v , содержит хотя бы одну ссылку на страницы сайта, соответствующего вершине u . Число ссылок с одного сайта на другой рассматривается как вес соответствующей дуги. Ссылки сайта на себя не учитываются. Таким образом, порожденные веб-графы являются ориентированными графами, в которых любая пара вер-

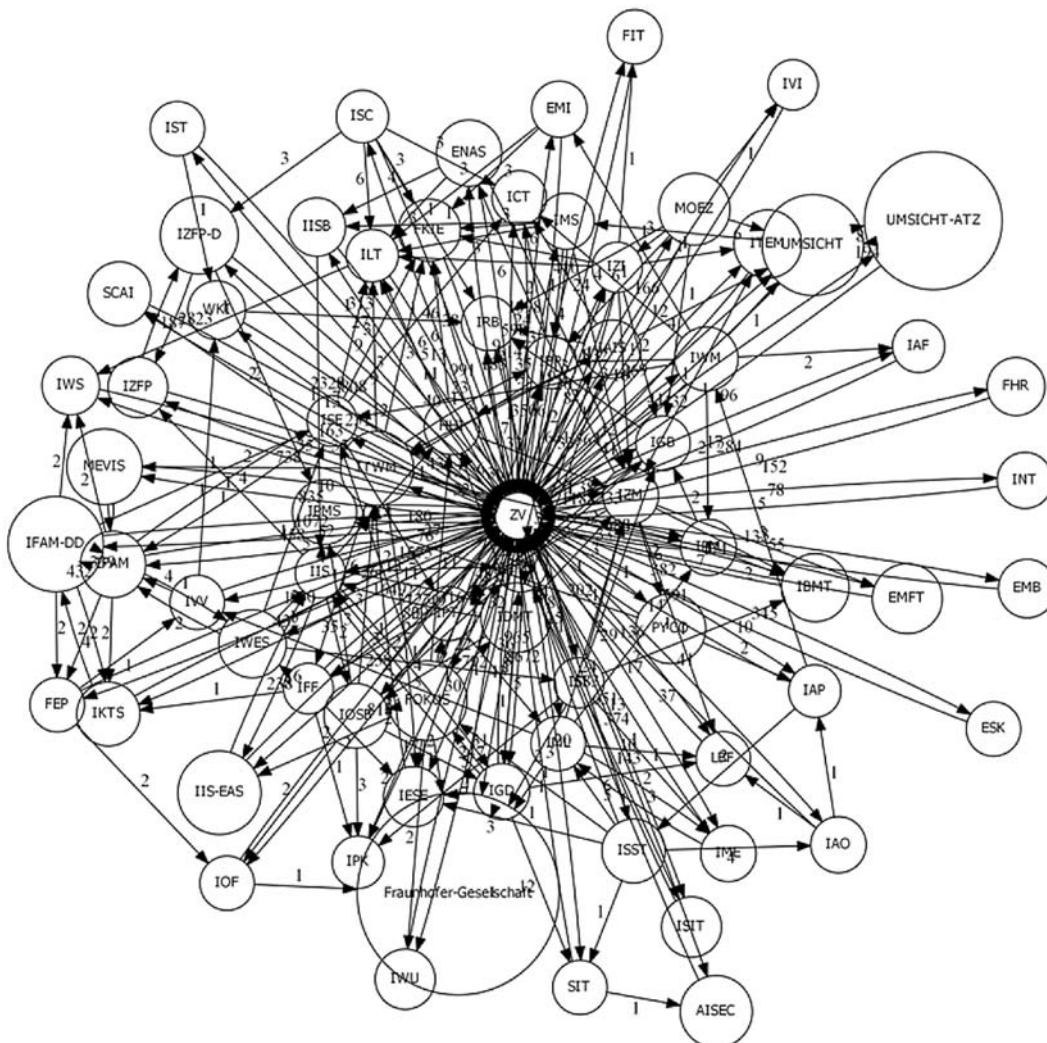


Рис. 1. Веб-граф G научных организаций Общества Фраунгофера

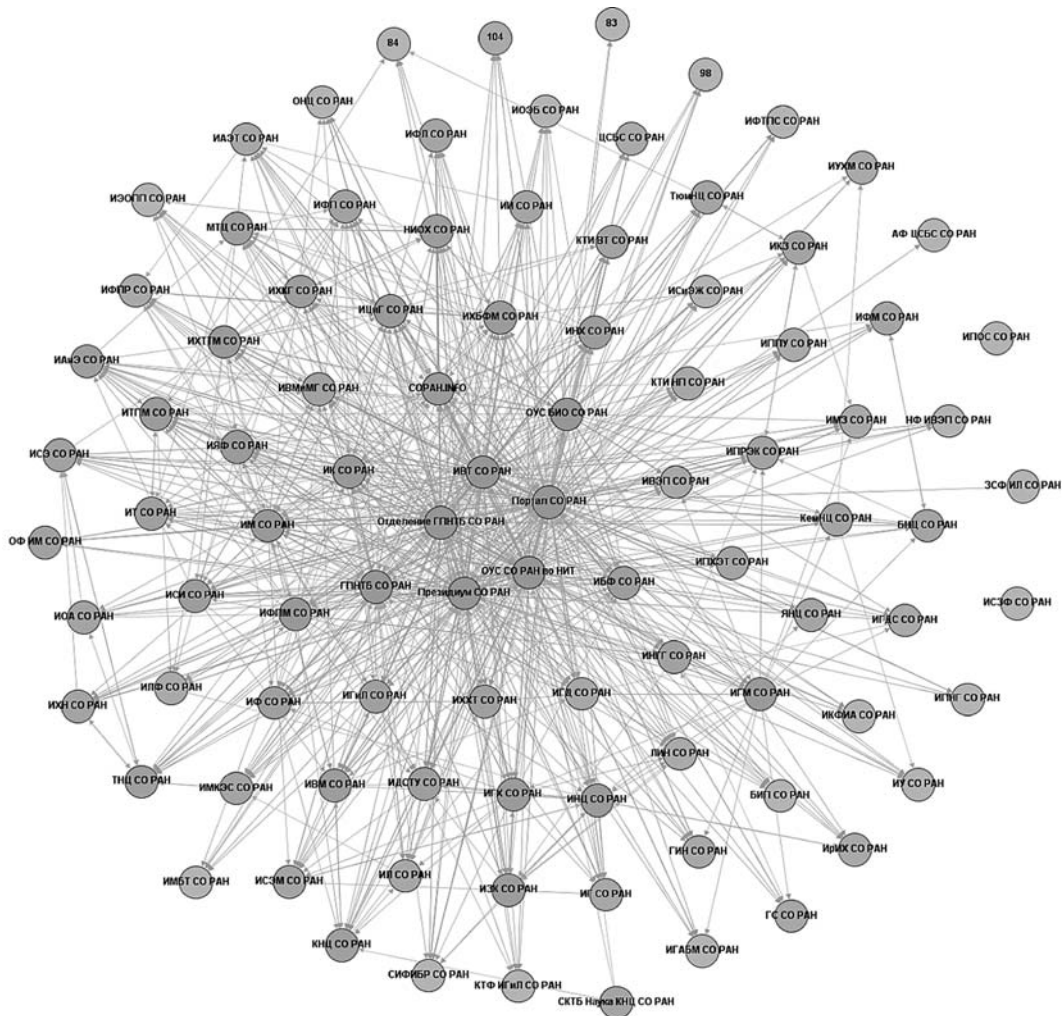


Рис. 2. Веб-граф R научных организаций СО РАН. Рисунок сделан в Институте систем информатики СО РАН

шин может быть соединена одной дугой или двумя противоположно направленными дугами. Число дуг в кратчайшем ориентированном пути между парой вершин равно наименьшему числу шагов при переходе по ссылкам с одного сайта на другой.

Веб-граф G содержит 72 вершины и 321 дугу и отражает связи научных организаций Общества Фраунгофера по состоянию на 8 апреля 2013 г. Список организаций ОФ и диаграмма графа G представлены в [21] (рис. 1). Веб-граф R , содержащий 95 вершин и 949 дуг, соответствует состоянию веб-пространства СО РАН на 29 октября 2013 г. В этот граф включены все научные организации из информационной системы "Организации и сотрудники СО РАН" [22]. Диаграмма графа R приводится на рис. 2 [23].

Далее будут сравниваться численные характеристики и структурные свойства графов R и G . Для наглядности при изображении фрагментов графов пара противоположно направленных дуг будет заменяться одной дугой с двумя стрелками.

Основанием ориентированного графа будем называть неориентированный граф с тем же множеством вершин, в котором пара вершин соединена ребром (дугой без учета ориентации), если эти вершины были соединены в исходном графе одной дугой или двумя противоположно направленными дугами. Таким образом, ребро в основании ориентированного графа отражает факт наличия ссылок между парой сайтов без указания направления ссылок.

2.2. Характеризация структуры графов численными параметрами

Для описания тех или иных структурных особенностей веб-графов часто используют инварианты графов, которые, как правило, являются функциями, ставящими в соответствие графу некоторое число. Численная характеристика структуры, проведенная на основе анализа ее локальных фрагментов, полезна при изучении графов большого размера, так как не требует трудоемких расчетов. Далее рассмотрим четыре инварианта, отражающих вклад

вершин, дуг и окрестностей вершин графа в формирование его структуры.

Индекс вершин графа $c_v(G)$. Пусть ориентированный веб-граф G имеет n вершин и k из них имеют хотя бы одну исходящую или входящую дугу. *Индексом вершин* в графе G будем называть величину $c_v(G) = k/n$. Для веб-графа этот параметр показывает, какая часть сайтов включена в информационное взаимодействие, хотя бы попарное. Близость величины $c_v(G)$ к нулю говорит о том, что имеется значительное число изолированных сайтов, т. е. таких, которые не связаны с другими сайтами. Это может иметь место, например, в начальной стадии организации веб-пространства. Равенство $c_v(G) = 1$ означает, что каждая организация вовлечена в информационное взаимодействие.

Индекс дуг графа $c_a(G)$. Пусть ориентированный граф G имеет $n \geq 2$ вершин. Максимально возможное число дуг, которое может иметь граф G , равно $n(n-1)$. Пусть число дуг в графе G равно t . *Индексом дуг* в графе G называется величина $c_a(G) = t/n(n-1)$. В работе [24] эта величина называется плотностью сети. Индекс дуг показывает, какая часть дуг графа участвует в установлении информационного взаимодействия между сайтами. Максимальное значение $c_a(G) = 1$ достигается, когда любые две вершины графа G соединены парой противоположно ориентированных дуг. В этом случае все сайты ссылаются друг на друга, обеспечивая кратчайший путь перехода с одного сайта на другой.

Коэффициент кластеризации графа $cc(G)$. Обозначим V_2 множество вершин ориентированного графа G , для каждой из которых число входящих и исходящих дуг в сумме не менее 2. Под *окрестностью* вершины $v \in V_2$ будем понимать множество вершин графа, соединенных с v дугами без учета их ориентации (число таких вершин не менее 2). Для вершины v графа H обозначим H_v ориентированный подграф, порожденный окрестностью вершины v . *Коэффициентом кластеризации вершины* v назовем величину $c_a(H_v)$, т. е. индекс дуг подграфа, порожденного только окрестностью вершины v в H [25]. *Коэффициент кластеризации графа* H определим

как $cc(H) = \frac{1}{|V_2|} \sum_{v \in V_2} c_a(H_v)$. Таким образом, $cc(H)$

показывает, как в среднем заполнены дугами окрестности вершин графа.

Коэффициент транзитивности графа $\tau(H)$. Рассмотрим в графе ориентированные пути длины 2. На рис. 3 центральная вершина таких путей изображена светлым кружком. Обозначим через N_Δ число всех ориентированных путей длины 2 в графе H , таких что концевые вершины u и v этих путей соединены дугой без учета ориентации (все возможные конфигурации показаны на рис. 3, а). Число всех ориентированных путей длины 2, между концевыми вершинами которых нет дуг, обозначим N_Λ (все воз-

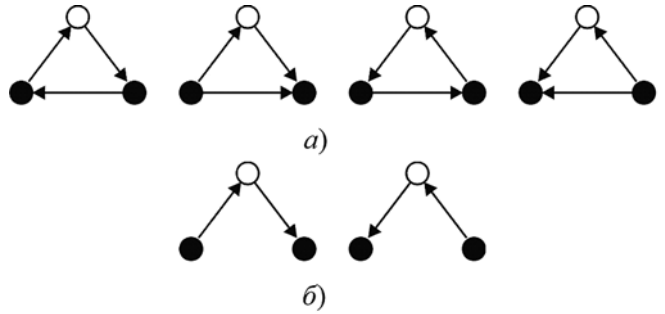


Рис. 3. Конфигурации для вычисления коэффициента транзитивности

Таблица 3

Параметры веб-графов научных организаций

| Граф | c_v | c_a | cc | τ |
|------|-------|-------|------|--------|
| G | 1,00 | 0,06 | 0,09 | 0,10 |
| R | 0,98 | 0,11 | 0,07 | 0,24 |

можные конфигурации приведены на рис. 3, б). *Коэффициент транзитивности* $\tau(H)$ ориентированного графа H определим как $\tau(H) = N_\Delta/N_\Lambda$ [26].

Значения введенных выше числовых параметров для веб-графов G и R научных организаций Общества Фраунгофера и СО РАН представлены в табл. 3.

Индекс вершин c_v показывает, что в веб-пространстве научных организаций ОФ все сайты включены в информационное взаимодействие, в то время как некоторые сайты СО РАН не связаны с другими (три сайта). Индекс дуг c_a или плотность сети для графа R почти в 2 раза выше, чем для графа G . Близкие значения коэффициента кластеризации cc показывают, что в среднем заполнение дугами окрестности вершин в обоих графах очень мало. Коэффициенты транзитивности графов различаются более чем в 2 раза выше, чем для графа G . Близкие значения коэффициента кластеризации cc показывают, что в среднем заполнение дугами окрестности вершин в обоих графах очень мало. Величины коэффициента транзитивности графов различаются более чем в 2 раза.

2.3. Входящие и исходящие связи вершин графов

Естественными характеристиками вершины v ориентированного графа являются число исходящих из нее дуг $deg_+(v)$ (полустепень исхода) и число входящих в нее дуг $deg_-(v)$ (полустепень захода). Вершина v , для которой $deg_+(v) = deg_-(v) = 0$, является изолированной. Если в графе каждую дугу заменить ребром, перейдя от ориентированного графа к неориентированному, то степень вершины v в полученном неориентированном мультиграфе будет равна $deg_\pm(v) = deg_+(v) + deg_-(v)$. На рис. 4 и 5 приводятся графики функции распределения числа вершин веб-графов G и R в зависимости от полустепеней исхода и захода.

2.4. Веб-коммуникаторы графов

При анализе использования информационных ресурсов веб-пространства важную роль играет соотношение между полустепенями исхода и захода вершин веб-графа. На рис. 6 приводятся три типа возможного соотношения числа входящих и исходящих дуг. Вершины первого типа называют *индукторами* (мало входящих дуг, много исходящих), второго типа — *коллекторами* (много входящих дуг, мало исходящих), а третьего типа — *посредниками* (много как входящих, так и исходящих дуг). Все описанные типы вершин образуют множество *веб-коммуникаторов* графа.



Рис. 6. Веб-коммуникаторы: индуктор, коллектор и посредник

Коллекторы могут соответствовать сайтам организаций, в которых происходит накопление, хранение и обработка данных. Это могут быть библиотеки, банки данных, центры коллективного пользования, справочные ресурсы, журналы. Посредниками могут быть вершины, соответствующие головным сайтам, порталам научных центров, сайтам институтов с высокой степенью научной кооперации. Индукторами могут являться сайты недавно созданных организаций.

Для отнесения вершины графа к веб-коммуникаторам того или иного типа удобно использовать числовые параметры, характеризующие соотношение между ее полустепенями. Пороговые значения параметров можно задавать в зависимости от распределения степеней вершин в графе. Будем использовать следующие правила для определения веб-коммуникаторов. Вершина v является:

- индуктором, если $deg_-(v) < avr(G)$, $deg_+(v) > avr(G)$ и $deg_+(v)/deg_-(v) > \Delta_i$;
- коллектором, если $deg_-(v) > avr(G)$, $deg_+(v) < avr(G)$ и $deg_-(v)/deg_+(v) > \Delta_c$;
- посредником, если $deg_-(v) > avr(G)$, $deg_+(v) > avr(G)$ и $|deg_+(v) - deg_-(v)| \leq \Delta_p$

Таблица 4

Веб-коммуникаторы в графе G при $\Delta_i = \Delta_c = 4$ и $\Delta_p = 2$ ($avr(G) = 4,46$)

| Индукторы | | | Коллекторы | | | Посредники | | |
|-----------|------------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------|------------------|-------------|
| Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации | Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации | Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации |
| 60 | (1,6) | ISC | 52 | (5,1) | IPMS | 63 | (6,6) | ISE |
| 10 | (1,7) | MOEZ | 64 | (5,1) | LBF | 38 | (6,7) | IFAM |
| 43 | (2,8) | IWM | 12 | (6,1) | ICT | 58 | (9,8) | IZM |
| 50 | (3,13) | FOKUS | 24 | (6,1) | F.-G. | 30 | (7,9) | IS |
| 66 | (2,10) | ISI | 14 | (8,1) | FKIE | 23 | (70,71) | ZV |
| — | — | — | 29 | (8,1) | IRB | — | — | — |
| — | — | — | 35 | (9,2) | ILT | — | — | — |

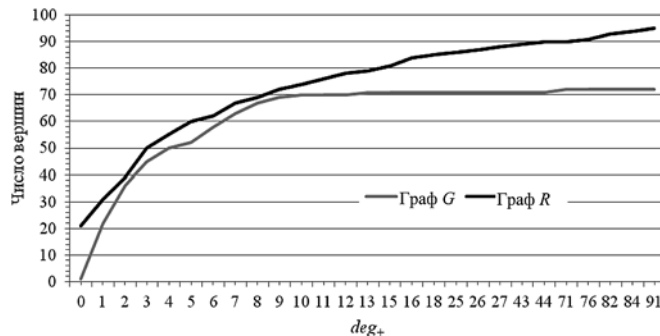


Рис. 4. Распределение вершин в графах G и R по полустепеням исхода deg_+

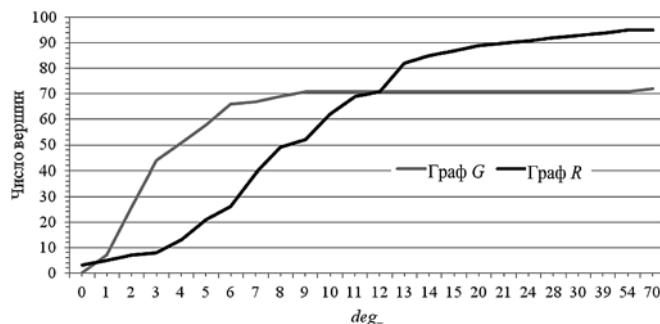


Рис. 5. Распределение вершин в графах G и R по полустепеням захода deg_-

Средние полустепени исхода/захода вершин для рассматриваемых графов равны $avr(G) = 4,46$ и $avr(R) = 9,99$ (суммы полустепеней исхода и захода всех вершин всегда равны).

Под расстоянием между парой вершин графа понимается число дуг в кратчайшей ориентированной цепи, соединяющей эти вершины. *Диаметром* графа называется максимальное расстояние между его вершинами. Диаметр веб-графа показывает, какое наибольшее число шагов можно сделать по уникальным сайтам, переходя по ссылкам с сайта на сайт. Диаметр графов G и R равен 2 и 4 соответственно. Любые две вершины графа G соединены цепью длины 2, проходящей через вершину ZV (головной сайт Общества Фраунгофера). Все диаметральные цепи в графе R начинаются в вершинах ИЛФ СО РАН или ИрИХ СО РАН.

Веб-коммуникаторы в графе R при $\Delta_i = \Delta_c = 4$ и $\Delta_t = 2$ ($avr(R) = 9.99$)

| Индукторы | | | Коллекторы | | | Посредники | | |
|-----------|------------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------|------------------|-------------|
| Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации | Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации | Вершины | (deg_-, deg_+) | Организации |
| 3 | (2,43) | ОУС БИО | 24 | (11,1) | ЛИН | 37 | (10,10) | ИЗК |
| — | — | — | 12 | (13,1) | ИФПР | 10 | (11,11) | ИСИ |
| — | — | — | 19 | (10,2) | ИЛ | 28 | (11,11) | ИВМ |
| — | — | — | 50 | (10,2) | ИГ | 14 | (13,12) | ИТПМ |
| — | — | — | 43 | (11,2) | ИАЭТ | 63 | (13,12) | ИНЦ |
| — | — | — | 40 | (13,2) | ИГД | 6 | (15,13) | ИЦИГ |
| — | — | — | — | — | — | 41 | (14,15) | ИХБФМ |

где $avr(G)$ — средняя степень вершин в графе G , а Δ_j , Δ_c и Δ_t — заданные границы.

В табл. 4 и 5 приводятся данные о веб-коммуникаторах графов G и R , где указаны номера вершин, полустепени исхода и захода вершин и наименования соответствующих организаций. Для индукторов и коллекторов большая полустепень превышает меньшую не менее чем в 4 раза, а полустепени вершин-посредников отличаются не более чем в 2.

Несмотря на то что средние степени вершин графов G и R различаются в 2 раза, заметное отличие наблюдается только в числе вершин-индукторов.

2.5. Агрегированное представление структуры графов

Для описания структуры больших веб-пространств часто используется их представление в виде схемы галстука-бабочки [27]. В графе выделяется максимальная сильно связная компонента, по отношению к которой классифицируются остальные вершины графа. Подграф называется *сильно связной компонентой* графа, если между любой парой его вершин существует ориентированный путь. Таким образом, проходя по ссылке соответствующих сайтов, можно посетить любую вершину компоненты. Центральную часть схемы образует максимальная сильно связная компонента графа. Левая часть схемы состоит из вершин, пути из которых ведут в эту компоненту. Правую часть схемы образуют вершины, в которые ведут пути из компоненты. Большие веб-графы могут содержать подмножества вершин, не попадающих в эти части схемы (например, пути из левой части схемы в правую, избегающие центральную часть). Структура рассматриваемых графов, представленная в виде схемы галстука-бабочки, показана на рис. 7.

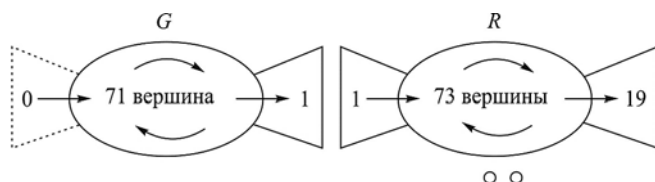


Рис. 7. Структура веб-графов G и R

Для графа G схема имеет вырожденный вид — максимальная сильно связная компонента содержит 71 вершину графа, левая часть схемы является пустой, а правая часть состоит из единственной вершины, в которую и ведут пути из компоненты.

В графе R центральная часть схемы содержит 73 вершины. Левая часть состоит из единственной вершины, а правую часть образуют 19 вершин с нулевым числом исходящих дуг.

Для исследования связности веб-графов рассматривались их основания, т. е. графы со снятой ориентацией ребер и без кратных ребер. Граф G обладает хорошей стойкостью к разрушению структуры в том смысле, что при удалении вершин больших степеней получающийся граф всегда состоит из одной большой связной компоненты и некоторого числа изолированных вершин. Граф G содержит единственную точку сочленения. Именно при удалении вершины 23 он распадается на пять несвязных друг с другом подграфов, один из которых содержит 68 вершин, а остальные подграфы являются изолированными вершинами. При последовательном удалении из графа G всех вершин, для которых $deg_+(v) \geq 11$ (13 вершин), оставшийся граф всегда содержит единственную неодноразветвленную компоненту. Граф R содержит единственную точку сочленения (Портал СО РАН), при удалении которой образуются одна большая компонента и две изолированные вершины. При последовательном удалении из графа R вершин со степенью $deg_+(v) \geq 36$ (12 вершин) оставшийся граф также всегда содержит единственную большую компоненту и изолированные вершины.

2.6. Группы наиболее тесно связанных организаций

Рассмотрим типы подграфов, которые могут образовывать группы тесно связанных друг с другом организаций. Любая пара вершин в таких подграфах соединена хотя бы одной дугой, а типы подграфов определяются ориентацией дуг.

Неориентированный подграф называется *полным*, если любая пара его вершин соединена ребром. Полный подграф называется *кликой* графа, если он не содержится ни в каком другом полном подграфе,

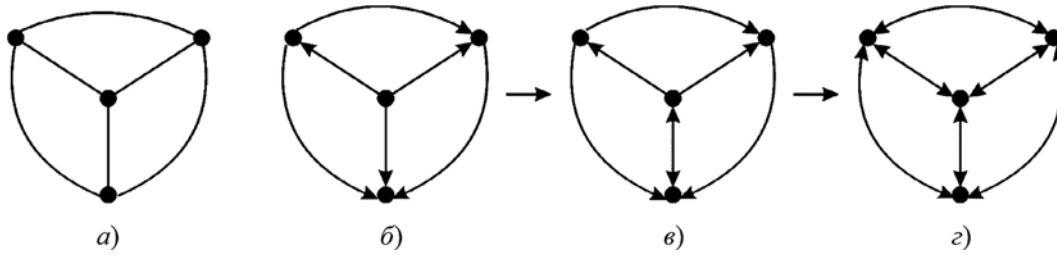


Рис. 8. Полный подграф (а), слабая (б), сильная (в) и компактная (г) клики

т. е. является максимальным по включению. Клику с числом вершин k будем называть для краткости k -кликкой. Клики основания графа G порождают в G ориентированные подграфы, которые будем называть ориентированными кликами. В зависимости от ориентации дуг выделим три типа ориентированных клик:

- ориентированная клика называется *компактной*, если каждая пара ее вершин соединена двумя противоположно направленными дугами. Компактная клика представляет собой оптимальный фрагмент с точки зрения скорости доступа к информационным ресурсам ее вершин. Эволюция веб-графов организаций в какой-либо узкой области науки может приводить к компактной клике;
- ориентированная клика называется *сильной*, если она является сильно связной компонентой графа, но не является компактной кликой. Таким образом, в сильной клике все вершины достижимы друг из друга, но между некоторыми вершинами расстояние больше, чем в случае компактной клики;
- ориентированная клика называется *слабой*, если она не является сильно связной компонентой графа. В таком подграфе обязательно есть вершины, не достижимые друг из друга.

Таблица 6

Распределение клик графа G по числу вершин

| | | | | | |
|---|----|----|----|---|---|
| Число вершин в клике | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Число клик основания графа | 4 | 83 | 31 | 2 | 1 |
| Число слабых клик | — | 2 | 1 | — | — |
| Число сильных клик | — | 76 | 30 | 2 | 1 |
| Число компактных клик | 4 | 5 | — | — | — |
| Число максимальных компактных подграфов | 48 | 14 | — | — | — |

Таблица 7

Распределение клик графа R по числу вершин

| | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Число вершин в клике | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число клик основания графа | 2 | 3 | 4 | 12 | 21 | 21 | 55 | 48 | 30 | 7 |
| Число слабых клик | 2 | 1 | 4 | 6 | 8 | 5 | 12 | 5 | — | — |
| Число сильных клик | — | 2 | — | 6 | 13 | 16 | 43 | 43 | 30 | 7 |
| Число компактных клик | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Число максимальных компактных подграфов | 19 | 24 | 11 | 13 | 10 | 4 | — | — | — | — |

Примеры клик указанных типов приведены на рис. 8. Ясно, что, добавляя новые дуги, всегда можно перейти от слабой клики к сильной и далее к компактной.

Информация о кликах веб-графа дает возможность выделить наиболее близкие группы сайтов. Если в клику добавляются новые дуги, то слабая клика может стать сильной, а затем компактной. Это может быть использовано для ускорения доступа к информационным ресурсам внутри группы.

Указанная выше классификация клик не позволяет выделять подграфы со структурой компактной клики, так как такой подграф может поглощаться, например, слабой кликой большего размера. Поэтому интерес представляет и нахождение максимальных компактных подграфов безотносительно к кликам других типов. Если в исходном графе удалить все дуги, которые не входят в контуры длины 2, то все клики в полученном графе будут компактными. В последней строке таблиц 6 и 7 приводится число максимальных компактных подграфов в графах G и R . Отметим, что такие подграфы в G имеют не более трех вершин (14 подграфов с числом вершин 3), в то время как размер максимальных компактных подграфов в R достигает семи вершин (4 подграфа с числом вершин 7). В графе R нет компактных клик, т. е. все компактные подграфы поглощаются кликами других типов, а в графе G девять компактных подграфов образуют компактные клики.

Наряду с индексом дуг $c_a(H)$ степень отличия графа H от оптимальной компактной структуры можно измерять отношением $m(H)$ числа вершин максимального компактного подграфа к числу вершин всего графа. Так как рассматриваемые графы G и R содержат 72 и 95 вершин соответственно, то $m(G) = 3/72 = 0,04$ и $m(R) = 7/95 = 0,07$.

Заключение

В работе изучены веб-пространства Сибирского отделения РАН (СО РАН) и Общества Фраунгофера (ОФ) в Германии. Сайты входящих в них научных организаций ранжированы методами вебметрики. Проведено сравнение численных и структурных характеристик соответствующих веб-графов. Выявлены общие свойства и различия академических веб-пространств СО РАН и ОФ.

В целом веб-пространства имеют схожую структуру, характеризующуюся следующими свойствами:

- наличие большого ядра достижимых друг из друга сайтов;
- достаточно малое среднее число ссылок между сайтами;
- небольшое число доминирующих сайтов с очень большим числом входящих и исходящих ссылок.

Среди обнаруженных отличий отметим следующие:

- в веб-графе СО РАН почти все сайты с малым числом входящих ссылок имеют и малое число исходящих ссылок (за исключением одного сайта), т. е. почти нет сайтов-индукторов;
- число ссылок на сайты ОФ не превышает 9, а любой сайт ссылается не более чем на 13 других сайтов (за исключением доминирующего сайта), в то время как для числа входящих и исходящих ссылок сайтов СО РАН такие ограничения не характерны;
- среднее число ссылок между сайтами в веб-пространстве СО РАН в 2 раза больше, чем в веб-пространстве ОФ;
- размеры групп тесно связанных друг с другом сайтов заметно больше в веб-пространстве СО РАН;
- веб-пространство ОФ обладает единственной доминирующей вершиной.

Проведенный сравнительный анализ позволяет сформулировать следующие рекомендации по улучшению структуры веб-пространства СО РАН. Прежде всего необходимо увеличить долю сайтов, которые достижимы друг из друга. Сейчас из 21 сайта СО РАН невозможно достичь остальные 74 сайта (в веб-пространстве ОФ аналогичным свойством обладает лишь один сайт). Одним из средств достижения этой цели может быть более широкое представление на сайтах научных организаций результатов междисциплинарных исследований.

В настоящей работе при построении веб-графа использовались статические ссылки между сайтами научных организаций. Также интересным является исследование веб-графа, построенного на основе динамических ссылок, отражающих реальные посещения сайтов.

Список литературы

1. **Almind T., Ingwersen P.** Infometric analyses on the World Wide Web: Methodological approaches to "webometrics" // *J. Document.* 1997. V. 53, N. 4. P. 404–426.
2. **Thelwall M., Wilkinson D.** Graph structure in three national academic webs: power laws with anomalies // *Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* 2003. V. 54 (8). P. 706–712.
3. **Stuart D., Thelwall M., Harries G.** UK academic web links and collaboration — an exploratory study // *J. Inf. Sci.* 2007. V. 33 (2). P. 231–246.

4. **Шокин Ю. И., Клименко О. А., Рычкова Е. В., Шабальников И. В.** Рейтинг сайтов научных организаций СО РАН // *Вычислительные технологии.* 2008. Т. 13, № 3. С. 128–135.
5. **Шокин Ю. И., Веснин А. Ю., Добрынин А. А., Клименко О. А., Рычкова Е. В., Петров И. С.** Исследование научного веб-пространства Сибирского отделения Российской академии наук // *Вычислительные технологии.* 2012. Т. 17, № 6. С. 86–98.
6. **Печников А. А.** Применение вебометрических методов для исследования информационного веб-пространства научной организации (на примере Карельского научного центра РАН) // *Труды КарНЦ РАН.* № 1. Сер. "Математическое моделирование и информационные технологии". Вып. 4. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 86–95.
7. **Веснин А. Ю., Константинова Е. В., Савин М. Ю.** О сценариях присоединения новых сайтов к веб-пространству СО РАН // *Вестник НГУ. Сер. "Информационные технологии".* 2013. Т. 11, № 4. С. 28–37.
8. **Shokin Yu. I., Vesnin A. Yu., Dobrynin A. A., Klimentko O. A., Konstantinova E. V., Petrov I. S., Rychkova E. V.** Investigation of the academic web space of the Republic of Serbia // *Zbornik radova konferencije MIT 2013, Belgrad, Serbia,* 2014. P. 601–607.
9. **Рейтинг сайтов научных организаций СО РАН.** URL: <http://www.ict.nsc.ru/ranking>
10. **Проект Ranking Web of World Research Centers.** URL: <http://research.webometrics.info/>
11. **Поисковая система Яндекс.** URL: <http://www.yandex.ru> (дата доступа — 10.08.2013).
12. **Поисковая система Google.** URL: <http://www.google.ru> (дата доступа — 10.08.2013).
13. **Поисковая система Bing.** URL: <http://www.bing.com> (дата доступа — 10.08.2013).
14. **Индекс цитирования каталога Яндекс.** URL: <http://help.yandex.ru/catalogue/citation-index/tic-about.xml> (дата доступа — 10.08.2013).
15. **Система определения индекса цитирования в веб-пространстве Google Scholar.** URL: <http://scholar.google.com> (дата доступа — 10.08.2013).
16. **Рейтинг сайтов научных организаций СО РАН.** URL: http://www.ict.nsc.ru/ranking/index.php?s_InfoID=15 (дата доступа — 10.08.2013).
17. **Рейтинг сайтов институтов Общества Фраунгофера в Германии.** URL: <http://www.ict.nsc.ru/sitepage.php?PageID=1000> (дата доступа — 27.09.2013).
18. **Харари Ф.** Теория графов. М.: Мир, 1973.
19. **Емельяков В. А., Мельников О. И., Сарванов В. И., Тышкевич Р. И.** Лекции по теории графов. М.: Наука, 1990.
20. **Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н.** Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. М.: Мир, 1980.
21. **Связи научных организаций Общества Фраунгофера.** URL: <http://ousnano.sbras.ru/sitepage.php?PageID=2505> (дата доступа — 27.09.2013).
22. **Информационная система "Организации и сотрудники СО РАН".** URL: <http://www.sbras.ru/sbras/db/> (дата доступа — 27.09.2013).
23. **Связи научных организаций СО РАНХ.** URL: <http://ousnano.sbras.ru/sitepage.php?PageID=3008> (дата доступа — 27.09.2013).
24. **Hage P., Harary F.** Structural models in anthropology. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1983.
25. **Watts D., Strogatz S.** Collective dynamics of small world networks // *Nature.* 1998. V. 393. P. 155–163.
26. **Opsahl T., Panzarasa P.** Clustering in weighted networks // *Social Networks.* 2009. V. 31. P. 155–163.
27. **Broder A., Kumar R., Maghoul F., Raghavan P., Rajagopalan S., Stata R., Tomkins A., Wiener J.** Graph structure in the Web // *Computer Networks.* 2000. V. 33, N 1–6. P. 309–320.

Yu. I. Shokin¹, Director, e-mail: dir@ictnsc.ru,
A. Yu. Vesnin², Head of a Laboratory, e-mail: vesnin@math.nsc.ru,
A. A. Dobrynin², Senior Researcher, e-mail: dobr@math.nsc.ru,
O. A. Klimenko¹, Senior Researcher, e-mail: klimenko@ict.nsc.ru,
E. V. Rychkova¹, Researcher, e-mail: helen@ict.nsc.ru

¹ Institute of computational technologies of the Siberian Branch of the Russian Academ

² Sobolev Institute of Mathematics of the Siverian Branch of the Russian Academy of Sciences

Analysis of a Web-Space of Academic Communities by Method of Webometries and Graph Theory

Web-spaces of two famous academic communities in Russia and in Germany, the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences and the Fraunhofer-Gesellschaft, are investigated by webometries and graph theory methods. The content of sites and links between them are analyzed by search engine services and special programs. Webometries methods are applied for statistical analysis of content of scientific organizations sites and ranking sites for each of communities. For studying of information interaction between sites, the graph representation of the web-space is used. Vertices of such a web-graph correspond to sites and a relation between two vertices is defined by hyperlinks from one site to another. For both communities structural and metric properties of web-graphs and their fragments are studied. It admitted to compare their numerical and structural characteristics. The similarities and differences between web-spaces of the communities are founded. The obtained results can be used for a future improving of academic web communication.

Keywords: web-space, webometries, graph theory, strongly connected component, graph, graph clique

References

1. **Almind T., Ingwersen P.** Infometric analyses on the World Wide Web: Methodological approaches to "webometrics". *J. Document.* 1997. V. 53, N. 4. P. 404–426.
2. **Thelwall M., Wilkinson D.** Graph structure in three national academic webs: power laws with anomalies. *Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* 2003. V. 54, N. 8. P. 706–712.
3. **Stuart D., Thelwall M., Harries G.** UK academic web links and collaboration — an exploratory study. *J. Inf. Sci.* 2007. V. 33, N. 2. P. 231–246.
4. **Shokin Yu. I., Klimenko O. A., Rychkova E. V., Shabal'nikov I. V.** Rejting sajtov nauchnyh organizacij SO RAN. *Vychislitel'nye tehnologii.* 2008. V. 13, N. 3. P. 128–135.
5. **Shokin Yu. I., Vesnin A. Yu., Dobrynin A. A., Klimenko O. A., Rychkova E. V., Petrov I. S.** Issledovanie nauchnogo veb-prostranstva Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk. *Vychislitel'nye tehnologii.* 2012. V. 17, N. 6. P. 86–98.
6. **Pechnikov A. A.** Primenenie vebometricheskikh metodov dlja issledovanija informacionnogo veb-prostranstva nauchnoj organizacii (na primere Karel'skogo nauchnogo centra RAN). *Trudy KarNC RAN. No 1. Ser. "Matematicheskoe modelirovanie i informacionnye tehnologii"*. V. 4. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2013. P. 86–95.
7. **Vesnin A. Yu., Konstantinova E. V., Savin M. Yu.** O scenarijah prisoedinenija novyh sajtov k veb-prostranstvu SO RAN. *Vestnik NGU. Ser. "Informacionnye tehnologii"*. 2013. V. 11, N. 4. P. 28–37.
8. **Shokin Yu. I., Vesnin A. Yu., Dobrynin A. A., Klimenko O. A., Konstantinova E. V., Petrov I. S., Rychkova E. V.** Investigation of the academic web space of the Republic of Serbia. *Zbornik radova konferencije MIT 2013.* Belgrad, Serbia, 2014. P. 601–607.
9. **Rejting** sajtov nauchnyh organizacij SO RAN. URL: <http://www.ict.nsc.ru/ranking>
10. **Proekt** Ranking Web of World Research Centers. URL: <http://research.webometrics.info/>
11. **Poiskovaja** sistema Jandeks. URL: <http://www.yandex.ru> (data dostupa — 10.08.2013).
12. **Poiskovaja** sistema Google. URL: <http://www.google.ru> (data dostupa — 10.08.2013).
13. **Poiskovaja** sistema Bing. URL: <http://www.bing.com> (data dostupa — 10.08.2013).
14. **Indeks** citirovanija kataloga Jandeks. URL: <http://help.yandex.ru/catalogue/citation-index/tic-about.xml> (data dostupa — 10.08.2013).
15. **Sistema** opredelenija indeksa citirovanija v veb-prostranstve Google Scholar. URL: <http://scholar.google.com> (data dostupa — 10.08.2013).
16. **Rejting** sajtov nauchnyh organizacij SO RAN. URL: http://www.ict.nsc.ru/ranking/index.php?s_InfoID=15 (data dostupa — 10.08.2013).
17. **Rejting** sajtov institutov Obshhestva Fraungofera v Germanii. URL: <http://vmw.ict.nsc.ru/sitepage.php?PageID=1000> (data dostupa — 27.09.2013).
18. **Harari F.** *Teorija grafov.* M.: Mir, 1973.
19. **Emelichev V. A., Mel'nikov O. I., Sarvanov V. I., Tyshkevich R. I.** *Lekcii po teorii grafov.* M.: Nauka, 1990.
20. **Rejngol'd Je., Nivergel't Ju., Deo N.** *Kombinatornye algoritmy. Teorija i praktika.* M.: Mir, 1980.
21. **Svjazi** nauchnyh organizacii Obshhestva Fraungofera. URL: <http://ousnano.sbras.ru/sitepage.php?PageID=2505> (data dostupa — 27.09.2013).
22. **Informacionnaja** sistema "Organizacii i sotrudniki SO RAN". URL: <http://www.sbras.ru/sbras/db/> (data dostupa — 27.09.2013).
23. **Svjazi** nauchnyh organizacij SO RAN. URL: <http://ousnano.sbras.ru/sitepage.php?PageID=3008> (data dostupa — 27.09.2013).
24. **Hage P., Harary F.** *Structural models in anthropology.* Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1983.
25. **Watts P., Strogatz S.** Collective dynamics of small world networks. *Nature.* 1998. V. 393. P. 440–442.
26. **Opsahl T., Panzarasa P.** Clustering in weighted networks. *Social Networks.* 2009. V. 31. P. 155–163.
27. **Broder A., Kumar R., Maghoul F., Raghavan P., Rajagopalan S., Stata R., Tomkins A., Wiener J.** Graph structure in the Web. *Computer Networks.* 2000. V. 33, N. 1–6. P. 309–320.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

УДК 004.738.5

М. Б. Булакина, канд. техн. наук, доц., e-mail: bulakina@gmail.com,

Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, Москва,

А. Д. Иванников, д-р техн. наук, проф., зам. директора по научной работе, e-mail: adi@iprm.ru,

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва

Федеральный портал "Российское образование" как средство агрегации образовательных информационных ресурсов

Рассмотрены вопросы создания и развития федерального портала "Российское образование" как средства агрегации размещаемой в Интернет информации в области образования, в частности электронных образовательных ресурсов. Анализируется текущее состояние и место портала в русскоязычной среде Интернет. На основе статистического анализа рассматривается аудитория портала.

Ключевые слова: портал, образовательные ресурсы, агрегация данных, система федеральных порталов

Введение

Историю создания и развития федерального портала "Российское образование" необходимо рассматривать в контексте создания всей системы образовательных порталов. Старт для построения системы образовательных Интернет-порталов был дан в 2002 г. в рамках федеральной целевой программы "Развитие единой образовательной информационной среды" (ФЦП РЕОИС). В то время система порталов рассматривалась как важнейший компонент программы РЕОИС [1, 2]. Среди приоритетных задач рассматривались вопросы стратегии создания и развития системы порталов, комплекс требований к программно-технологическим платформам,

были определены базовый набор сервисов порталов и методы их реализации, а также спецификации метаописаний информационных ресурсов. Были решены организационно-методические вопросы создания и функционирования системы порталов.

Федеральный портал "Российское образование" на протяжении более 10 лет постоянно занимает место в первой пятерке, иногда — десятке интернет-ресурсов, посвященных теме образования. На портале собрана информация о более чем 50 тыс. электронных образовательных ресурсах, размещенных в русскоязычной среде Интернет, а также большое количество информационных ресурсов, посвященных различным аспектам образовательной системы России. Ежедневно на портале посетителями просматривается более ста тысяч страниц (рис. 1).

Система образовательных порталов

Электронные образовательные ресурсы на протяжении последних десятилетий являются важнейшим современным образовательным инструментом [3–5]. Организация создания и эффективного использования таких ресурсов является одной из важнейших задач управления образованием [6, 7]. К 2002 г. в русскоязычном сегменте сети Интернет в открытом доступе находилось значительное количество информационных ресурсов, которые могли быть использованы для целей и задач образования. В большинстве своем ресурсы располагались на сайтах образовательных учреждений (университетов, институтов, школ), сайтах коммерческих и некоммерческих организаций [8]. Но релевантный

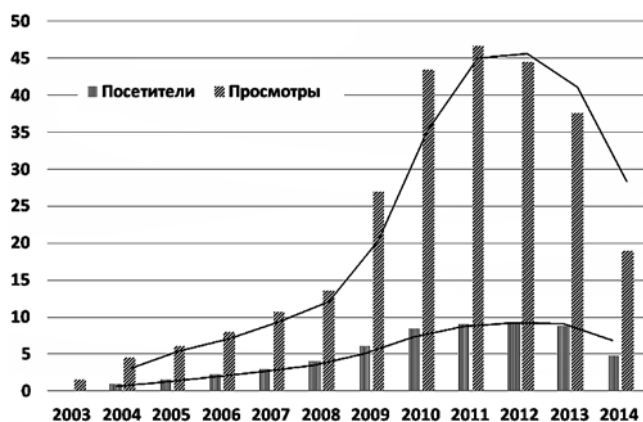


Рис. 1. Динамика изменения аудитории федерального портала "Российское образование" по годам в период 04.2003–07.2014 г. (в млн посетителей и просмотров)

поиск и доступ к таким образовательным ресурсам был в определенной степени непростой задачей в связи с их разбросанностью и трудностью определения наиболее качественных. Универсальные поисковики, реализующие поиск по ключевым словам, не решали в полной мере указанной проблемы в связи со всеобщностью полученных результатов в списке выдач. Вместе с тем к моменту начала создания системы порталов качественных информационных ресурсов для использования в образовательном процессе на всех уровнях было явно недостаточно. Необходимо было создать "единую точку входа" для доступа к образовательному контенту, а также стимулировать процессы создания и публикации ресурсов. Для решения этих и ряда других задач и была создана система образовательных интернет-порталов, обеспечивающая информационную поддержку образовательного процесса для всех уровней образования и форм обучения. В соответствии с "Концепцией создания системы интернет-порталов сферы образования", утвержденной Коллегией Министерства образования России от 04.04.2002, было дано определение портала: "Портал — это сетевой узел или комплекс узлов, подключенных к Интернету по высокоскоростным каналам, обладающий развитым пользовательским интерфейсом и предоставляющий единый с концептуальной и содержательной точек зрения доступ к широкому спектру информационных ресурсов и услуг, ориентированных на определенную аудиторию". Конечной целью работ в соответствии с указанной Концепцией являлись разработка, поддержка и использование на практике целостной, взаимодополняемой и территориально распределенной системы образовательных порталов сферы образования [1, 9].

Структура созданной системы образовательных порталов включала в себя горизонтальный портал и вертикальные порталы (профильные и специализированные). Вертикальные профильные порталы создавались по областям знаний и должны были включать образовательные ресурсы или их метаописания для всех уровней образования. Именно вокруг профильных порталов создавались сообщества преподавателей-предметников, усилиями которых осуществлялись создание или выбор и анализ качественных образовательных ресурсов. Специализированные вертикальные порталы предназначались для информационного обслуживания общеобразовательных задач.

Горизонтальный портал должен был явиться обобщающим и связующим звеном для всей системы образовательных порталов. В частности, основной составляющей горизонтального портала является хранение интегрального каталога метаописаний качественных образовательных ресурсов, имеющихся в русскоязычном сегменте Интернет, а также система атрибутно-контекстного поиска в этом каталоге [10]. Роль и функции горизонталь-

ного портала выполнял Федеральный портал "Российское образование" (www.edu.ru).

В 2002—2004 гг. были созданы и введены в эксплуатацию семь вертикальных профильных порталов [11]:

- портал "Экономика. Социология. Менеджмент", в настоящее время www.ecsocman.hse.ru;

- правовой портал "Юридическая Россия" www.law.edu.ru;

- портал "Социально-гуманитарное и политологическое образование";

- Естественно-научный образовательный портал (физика, химия, биология, математика), тогда www.en.edu.ru;

- Российский общеобразовательный портал www.school.edu.ru ;

- портал "Информационно-коммуникационные технологии в образовании" www.ict.edu.ru;

- портал "Инженерное образование".

На этих порталах были размещены как сами образовательные ресурсы, так и метаописания образовательных интернет-ресурсов, расположенных в русскоязычном сегменте Интернет по соответствующим отраслям знаний.

Кроме того, были созданы семь специализированных вертикальных порталов:

- информационной поддержки единого государственного экзамена www.ege.edu.ru;

- открытого образования, тогда www.open.edu.ru;

- по поддержке процессов обучения в странах СНГ;

- "Здоровье и образование";

- "Международное образование";

- дополнительного образования детей;

- "Реализация федеральных и региональных программ развития образования".

Федеральный горизонтальный портал "Российское образование" был введен в эксплуатацию в 2002 г. В 2003—2005 гг. шло непрерывное совершенствование и развитие контента и сервисов портала. Так, в 2005 г. на базе ресурсов федеральных образовательных порталов была создана электронная полнотекстовая библиотека учебных и учебно-методических материалов в составе "Единого окна доступа к образовательным ресурсам" (window.edu.ru). Каталог метаописаний (карточек) электронных образовательных ресурсов пополнялся на всем протяжении функционирования портала "Российское образование".

Созданная система порталов по совокупности представленных в ней ресурсов (учебные, методические, справочные материалы, нормативные документы и др.) охватывала все уровни образования и предметные области и была предназначена для различных категорий участников образовательного процесса [12].

Необходимо отметить, что в создании системы федеральных образовательных порталов приняли

участие научные и творческие коллективы разработчиков из значительного числа ведущих учебных заведений и других организаций России. По своей сути данная работа имела всероссийский охват, и в сфере информатизации образования это был своего рода технологический прорыв, который создал фундамент для формирования и развития русскоязычного образовательного сегмента сети Интернет.

В ходе выполнения проекта разработчиками были предложены решения по сбору, анализу и систематизации образовательных интернет-ресурсов для включения в каталоги и поисковый индекс. В системе федеральных образовательных порталов была введена единая система рубрикаторов и модель метаданных образовательных интернет-ресурсов, которые в 2004 г. были утверждены в качестве стандарта "Метаданные информационных образовательных ресурсов для интернет-каталогов" [13]. Разработанный стандарт предлагал модель метаданных информационных образовательных ресурсов, включающую информационную модель и элементы данных информационной модели, а также систему рубрикаторов каталога интернет-ресурсов.

Предложенная система рубрикаторов включала более 1000 подрубрик по четырем направлениям рубрикации: по аудитории; по предметной области; по уровню образования; по типу ресурса. Рубрикатор каждого направления основывался на действующих в то время нормативных документах (Законы Российской Федерации, ГОСТы, нормативные документы системы образования) и соответствовал сложившейся практике информационного наполнения каталога интернет-ресурсов. Объем рубрикаторов отвечал минимально-достаточным требованиям для использования в практике поиска ресурсов. В ходе многолетних практических работ по поиску и каталогизации ресурсов в рубрикатор были внесены дополнения/изменения в части предметной области и типов ресурсов. Предложенная модель метаданных и система рубрикации в дальнейшем нашла свое практическое применение при создании каталогов как на федеральных образовательных порталах, так и на сайтах целого ряда образовательных учреждений и проектов.

Несмотря на то что каждый из порталов системы был реализован различными группами исполнителей, при разработке придерживались общих концептуальных, системно-технологических и организационных принципов [14].

Развитие и сопровождение каждого из порталов системы складывалось в течение прошедших лет по-разному. Ряд порталов заканчивал свое функционирование практически одновременно с прекращением целевого финансирования, некоторые достаточно длительное время были доступны по своим url-адресам, а ряд порталов (федеральный портал "Российское образование", Российский общеобразовательный портал, образовательный портал

"Экономика. Социология. Менеджмент", специализированный портал "Информационно-коммуникационные технологии в образовании", правовой портал "Юридическая Россия", официальный информационный портал единого государственного экзамена) функционируют и в настоящее время и занимают заметное место в русскоязычном сегменте сети Интернет.

Наиболее востребованные ресурсы порталов, которые, к сожалению, прекратили свое существование, были включены в состав портала "Российское образование" как интегрирующий элемент агрегации информационных материалов в области образования.

Базовые информационные службы и сервисы федерального портала "Российское образование"

Каталог образовательных интернет-ресурсов федерального портала "Российское образование" URL:http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=searchform является его базовым и одним из наиболее популярных ресурсов. Он формируется на основе метаописаний информационных ресурсов, объединенных общими принципами редакционной и технологической политики и составляющих логически единую базу знаний.

В каталоге представляются приведенные в табл. 1 типы образовательных ресурсов. Конечно, в образовании используется много материалов, не являющихся образовательными ресурсами в явном виде. Так, студентам, изучающим метеорологию, естественно, нужен доступ к прогнозам погоды, а студентам-экономистам — в ряде случаев к текущим биржевым индексам. При составлении рассматриваемого каталога было принято решение, что в каталог будут заноситься сведения только об образовательных ресурсах, являющихся таковыми в явном виде.

Уникальным идентификатором ресурса является его адрес (URL). Карточка метаописания образовательного ресурса имеет набор полей, приведенный в табл. 2.

Для позиционирования образовательного ресурса используются четыре направления рубрикации: уровень образования, предметная область, тип ресурса и целевая аудитория. Необходимо отметить, что предметная рубрикация для общего и профессионального образования выполняется по различным классификаторам.

У карточки ресурса, помимо внешних атрибутов, используемых поисковой системой, есть дополнительные служебные атрибуты:

- уникальный числовой идентификатор карточки в каталоге;
- дата и время первого занесения карточки;
- источник (идентификатор каталогизатора или партнера, от которого импортирована карточка);

Таблица 1

**Типы образовательных ресурсов в каталоге портала
"Российское образование"**

| Группа типов | Тип |
|---|---|
| Учебные материалы | Учебник, учебное пособие Электронный учебный курс Текст лекций Лабораторный практикум Задачник Тест, контрольные вопросы |
| Учебно-методические материалы | Учебный план Учебная программа План занятий Методические указания |
| Справочные материалы | Словарь Справочник База данных Геоинформационная/картографическая система Энциклопедия |
| Иллюстративные и демонстрационные материалы | Атлас Коллекция Карта Наглядное пособие |
| Дополнительные информационные материалы | Хрестоматия Печатное издание (книга) Интернет-публикация научно-популярного характера Рекламно-информационная публикация Библиография |
| Нормативные документы | Образовательный стандарт Инструкция, нормативный акт |
| Научные материалы | Автореферат диссертации Диссертация Статья Монография Обзор |
| Электронные периодические издания | Полнотекстовое издание Оглавление печатных изданий |
| Электронные библиотеки | Полнотекстовая библиотека Электронный каталог публичной библиотеки |
| Образовательные сайты | Информационный портал или сайт Сайт образовательного учреждения Сайт органа управления образованием Сайт организации (фирмы) |
| Программные продукты | Программный комплекс для образовательных учреждений Инструментальные средства |

— редактор (идентификатор редактора, последним изменившим атрибуты ресурса);

— дата и время последнего изменения атрибутов ресурса;

— текущий статус ресурса (разрешен или запрещен, опубликован или не опубликован, доступен или недоступен).

Служебные атрибуты используются для мониторинга текущего состояния каталога и поддержки деятельности службы информационного сопровождения. Наполнение каталога осуществляла спе-

циальная служба, объединяющая действия редакторов, каталогизаторов и программистов. При этом исходные метаописания ресурсов формировали каталогизаторы с помощью соответствующего Web-интерфейса или они импортировались посредством репликации в формате XML от партнеров (образовательные порталы и информационные центры при университетах). Карточку метаописания с помощью специальной формы также мог заполнить любой автор или издатель ресурса. Все карточки просматривали и при необходимости редактировали ответственные редакторы тематических разделов каталога, которые принимали окончательное решение о публикации карточки ресурса. Общее число карточек в каталоге в январе 2004 г. составляло около 15 000, в настоящее время в каталоге размещается более 50 000 карточек.

На каталог образовательных ресурсов приходится существенная часть "хитов" портала "Российское образование", поэтому размещение в каталоге карточки ресурса является довольно эффективным способом информирования потенциальных пользователей.

Архив нормативных и распорядительных документов Минобразования России URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=35. В архиве представлено более 25 000 электронных версий приказов, информационных писем, решений Коллегии с 1996 г. Каждый документ имеет набор атрибутов (карточку), включающий название, номер, дату, тип, позиции тематического рубрикатора. Для поиска документов используется автономная система атрибутно-контекстного поиска.

Архив государственных образовательных стандартов URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=34. Автономная поисковая система позволяет находить файл государственных образовательных стандартов (ГОС) по шифру или подстроке названия специальности для каждого уровня профессионального образования. Кроме того, в архиве имеются примерные учебные планы и частично примерные программы учебных дисциплин. В настоящее время архив обеспечивает доступ к текстам федеральных ГОС.

Базы данных организаций. Портал "Российское образование" обеспечивает доступ к базам данных образовательных учреждений России:

— вузов: URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=172;

— техникумов: URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=171;

— колледжей, лицеев: URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=170.

— каталог школ: URL: <http://schools.informika.ru>.

В указанных базах данных размещается самая полная и актуальная информация о школах, учреждениях начального, среднего специального и высшего профессионального образования. В 2008 г.

Набор полей карточки метаописания образовательного ресурса

| Тип (группа) | URL | Название | Аннотация | Ключевые слова | Автор | Язык | Аудитория | Уровень образования | Предметная область | Технические параметры |
|---|-----|----------|-----------|----------------|-------|------|-----------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Учебные материалы | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Учебно-методические материалы | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Справочные материалы | + | + | + | + | + | + | | | + | |
| Иллюстративные и демонстрационные материалы | + | + | + | + | | + | | | + | |
| Дополнительные информационные материалы | + | + | + | + | | + | | | + | |
| Нормативные документы | + | + | + | + | | + | | + | | |
| Научные материалы | + | + | + | + | + | + | | | + | |
| Электронные периодические издания | + | + | + | + | | + | | | | |
| Электронные библиотеки | + | + | + | + | | + | | | | |
| Образовательные сайты | + | + | + | + | | + | | | | |
| Программные продукты | + | + | + | + | + | + | | | | + |

для удобства поиска и доступа к информации был создан раздел "Абитуриенту", в котором публикуются актуальные сведения для выпускников школ и абитуриентов учреждений среднего и высшего профессионального образования. На данный раздел суммарно приходится существенная часть всех просмотров портала.

Интерактивный картографический сервис (URL: <http://www.edu.ru/maps>) представляет собой информационно-технологический комплекс, позволяющий формировать HTML-документы, содержащие изображения справочных или тематических карт различного назначения, полученные в результате взаимодействия пользователя Web-сайта со специализированным серверным приложением, называемым картографическим сервером. В итоге пользователь имеет возможность получать результаты запросов в виде разнообразных картографических изображений различного территориального охвата, содержания и назначения, визуализирующих местоположение объектов, их территориальное распределение и структуру.

Демонстрационные варианты тестов Единого государственного экзамена (ЕГЭ) и Государственной итоговой аттестации (ГИА). Подсистема онлайн тестирования и подготовки к ЕГЭ и ГИА (URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=268) реализована в среде Moodle и предоставляет доступ к вариантам демонстрационных тестовых заданий ЕГЭ и ГИА за 2009—2014 гг.

Новостные ленты портала (URL: http://www.edu.ru/index.php?page_id=5) формируются с помощью специализированного Web-интерфейса. Реализован механизм импорта и экспорта анонсов новостной информации на основе спецификаций RSS. В новостной колонке на первой странице (URL: www.edu.ru) выводится по пять последних анонсов из каждой новостной ленты.

Позиции федерального портала "Российское образование" в сети Интернет, структура трафика и аудитория

С самого момента запуска портал начал набирать свою пользовательскую аудиторию. В 2003 г. федеральный портал "Российское образование" был зарегистрирован в системе сбора статистики Рамблер Топ100, в 2007 г. — в LiveInternet, в 2009 г. — в GoogleAnalytics и Яндекс.Метрика. Мониторинг посещаемости редакция портала вела на постоянной основе. С 2003 до 2011 г. включительно наблюдался положительный прирост аудитории портала (см. рис. 1). В 2011 г. посещаемость портала достигла своего пикового значения: число уникальных посетителей в год превысило 9 млн, которые суммарно просмотрели более 45 млн страниц портала.

Источники трафика портала распределяются в основном на три группы: поисковые системы (~66 %), ссылки на сайтах (~10 %) и прямые заходы (~20 %) (рис. 2). С 2010 г. наблюдается тенденция к увеличению доли поискового трафика за счет уменьшения прямых заходов и переходов по ссылкам с сайтов.

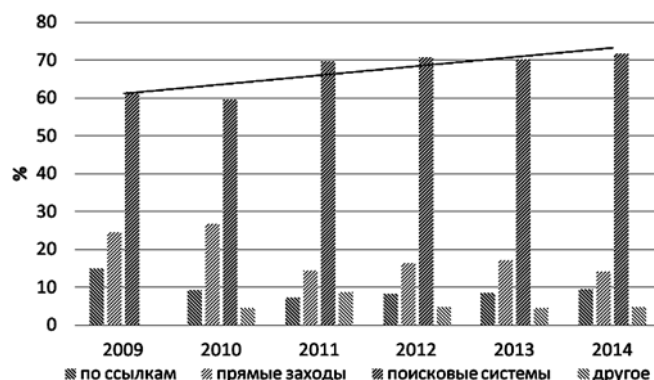


Рис. 2. Распределение источников трафика портала по годам (в %)

Наибольшая доля трафика за весь период наблюдения приходится на переходы с поисковых систем Яндекс, Google, Mail.ru и др. Наибольшая доля посетителей из поисковых систем приходится на Яндекс и Google (в среднем 55 % и 34 % соответственно) (рис. 3).

География аудитории портала за истекший период осталась практически неизменной: наибольшая доля посетителей приходится на Москву и Санкт-Петербург (рис. 4 и 5). При этом доля посетителей из Московского региона уменьшилась в среднем на 10 %, доля остальных регионов, дающих наибольший вклад в общую посещаемость, осталась практически неизменной.

Структура аудитории, представленная на рис. 6 и 7, характеризуется преобладанием доли женщин

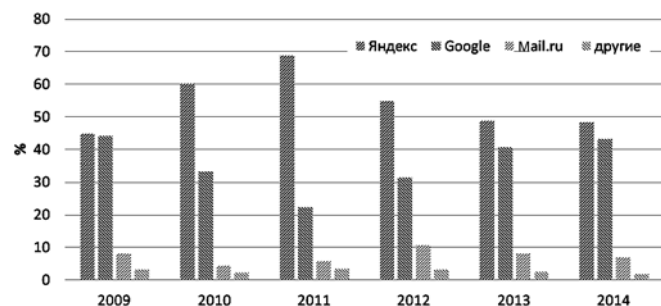


Рис. 3. Распределение трафика из поисковых систем по годам (в %)

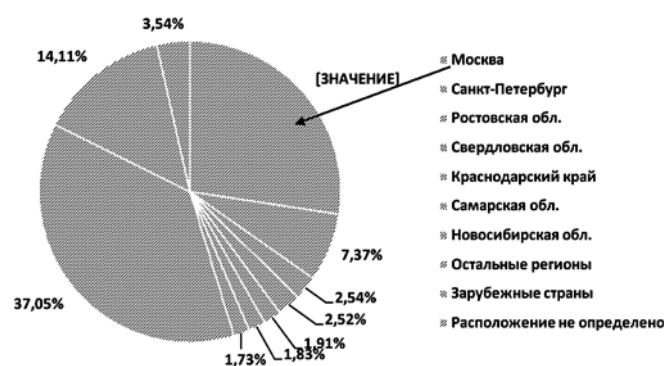


Рис. 4. Распределение посетителей по регионам РФ в 2003 г. (направление движения по часовой стрелке)

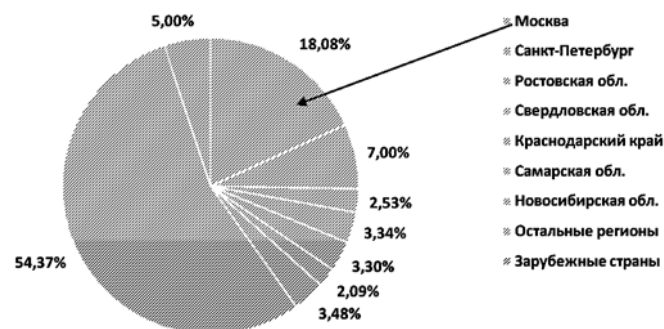


Рис. 5. Распределение посетителей по регионам РФ в 2013 г. (направление движения по часовой стрелке)

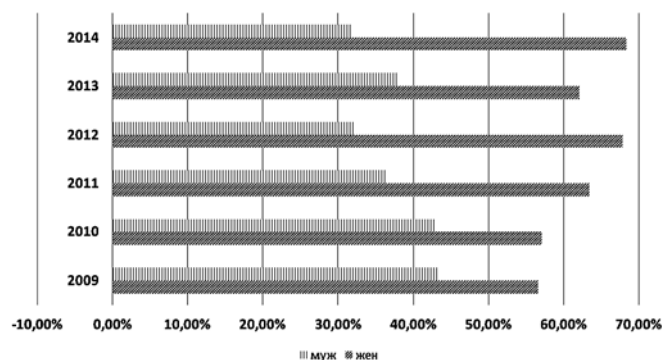


Рис. 6. Распределение посетителей портала по гендерному признаку по годам

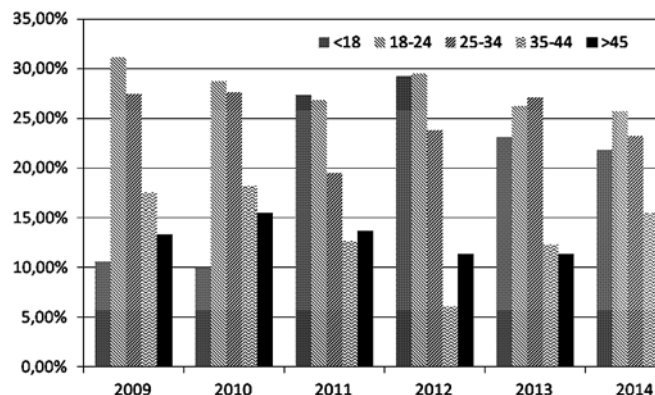


Рис. 7. Возрастная структура посетителей портала по годам

и лиц в возрасте от 18 до 35 лет. При этом начиная с 2011 г., наблюдается увеличение доли посетителей младше 18 лет.

Заключение

Федеральный портал "Российское образование" является элементом русскоязычного сегмента сети Интернет, агрегирующим всю основную информацию в области российского образования как в виде непосредственно информационных материалов (баз данных, справочных файлов), так и в виде карточек со ссылками на адреса актуальных информационных ресурсов. Существенным элементом портала является каталог электронных образовательных ресурсов по различным предметам для различных уровней образования, обеспечивающий доступ пользователей к этим ресурсам независимо от их месторасположения в Интернет.

Таким образом, портал "Российское образование" выполняет общесистемные функции по каталогизации и поиску образовательных ресурсов, по публикации актуальной нормативной, справочной и новостной информации для системы российского образования в целом. Он является одним из самых авторитетных среди всех имеющихся в сети Интернет образовательных ресурсов, что подтверждается тематическим индексом цитирования (ТИЦ) Яндекса, который в настоящее время равен 24 000.

Список литературы

1. **Иванников А. Д., Булгаков М. В., Гридина Е. Г.** Современное состояние и перспективы развития системы федеральных образовательных порталов // Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. науч. ст. Вып. 3. М.: Просвещение, 2005. С. 12—25.
2. **Береговой В. И., Иванников А. Д., Тихонов А. Н.** Стратегия создания и развития сети образовательных порталов // Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. науч. ст. Вып. 1. М.: Просвещение, 2003. С. 19—63.
3. **Тихонов А. Н., Иванников А. Д.** Технологии дистанционного обучения // Высшее образование в России. 1994. № 3. С. 3—10.
4. **Иванников А. Д., Кулагин В. П., Миронов А. А., Мордвинов В. А., Сигов А. С., Тихонов А. Н., Цветков В. Я.** Синергетическая теория информационных процессов и систем. М.: МГДД(Ю)Т, МИРЭА, ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2010.
5. **Усков В. Л., Иванников А. Д., Усков А. В.** Перспективные технологии для электронного образования // Информационные технологии. 2007. № 2. С. 32—38.
6. **Тихонов А. Н., Абрамешин А. Е., Воронина Т. П., Иванников А. Д., Молчанова О. П.** Управление современным образованием: социальные и экономические аспекты. М.: Вита-пресс, 1998. 256 с.
7. **Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Цветков В. Я.** Образовательные услуги как инструмент качества образования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2009. № 3. С. 94—96.
8. **Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Домрачев В. Г., Ретинская И. В.** Образовательные интернет-ресурсы. М.: Просвещение, 2004. 287 с.
9. **Иванников А. Д., Тихонов А. Н.** Основные положения концепции создания системы образовательных порталов // Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. науч. ст. Вып. 1. М.: Просвещение, 2003. С. 8—18.
10. **Иванников А. Д.** Тематические интернет-порталы как средство агрегации электронного контента в заданной предметной области // Информационные технологии. 2014. № 3. С. 43—48.
11. **Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Гридина Е. Г., Куракина Н. И., Симонов А. В., Чиннова И. И.** Комплексный анализ системы федеральных образовательных порталов // Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. науч. ст. Вып. 2. М.: Просвещение, 2004. С. 192—226.
12. **Булгаков М. В., Гридина Е. Г., Иванников А. Д., Старых В. А.** Федеральная система информационно-образовательных ресурсов // Информационные ресурсы России. 2009. № 2. С. 25—27.
13. **Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Булгаков М. В., Гридина Е. Г., Внотченко С. С., Булакина М. Б., Носов В. П., Чиннова И. И., Якивчук Е. Е.** О стандарте метаданных информационных образовательных ресурсов для интернет-каталогов // Интернет-порталы: содержание и технологии: Сб. науч. ст. Вып. 3. М.: Просвещение, 2005. С. 26—47.
14. **Абрамов А. Г., Булакина М. Б., Булгаков М. В., Внотченко С. С., Зыбарев Е. Ю., Иванников А. Д., Сигалов А. В.** Информационные разделы и сервисы федеральных образовательных порталов: опыт разработки и сопровождения // Информатизация образования и науки. 2009. № 3. С. 51—64.

M. V. Bulakina, Associate Professor,

Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, e-mail: bulakina@mail.com

A. D. Ivannikov, Professor, Deputy Director,

Institute for Design Problems in Microelectronics, e-mail: adi@ippm.ru

Federal Portal "All-Russian Education" as a Mean for Educational Information Resources Aggregation

Design and Development of the Federal Portal "All-Russian Education" is described. The Portal is considered as an aggregation point for the information posted on the Internet in the field of education, in particular, electronic educational resources. The Portal was created as an integrating element for the educational portals system. It has various services and educational databases. One of the central elements is educational electronic resources catalog containing metadata for resources for different subjects and different educational levels. Statistical analysis of portal audience is described and analyzed.

Keywords: portal, educational resources, data aggregation, the system of federal portals

References

1. **Ivannikov A. D., Bulgakov M. V., Gridina E. G.** Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya sistemy federal'nyh obrazovatel'nyh portalov. *Internet-portaly: sodержanie i tehnologii: Sb. nauch. st. V. 3.* М.: Prosveshhenie, 2005. P. 12—25.
2. **Beregovoj V. I., Ivannikov A. D., Tihonov A. N.** Strategija sozdaniya i razvitiya seti obrazovatel'nyh portalov. *Internet-portaly: sodержanie i tehnologii: Sb. nauch. st. V. 1.* М.: Prosveshhenie, 2003. P. 9—63.
3. **Tihonov A. N., Ivannikov A. D.** Tehnologii distancionnogo obucheniya. *Vysshee obrazovanie v Rossii.* 1994. N. 3. P. 3—10.
4. **Ivannikov A. D., Kulagin V. P., Mironov A. A., Mordvinov V. A., Sigov A. S., Tihonov A. N., Cvetkov V. Ja.** *Sinergeticheskaja teorija informacionnyh processov i sistem.* М.: МГДД(Ю)Т, МИРЭА, ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2010.
5. **Uskov V. L., Ivannikov A. D., Uskov A. V.** Perspektivnye tehnologii dlja jelektronnogo obrazovaniya. *Informacionnye tehnologii.* 2007. N. 2. P. 32—38.
6. **Tihonov A. N., Abrameshin A. E., Voronina T. P., Ivannikov A. D., Molchanova O. P.** *Upravlenie sovremennym obrazovaniem: social'nye i jekonomichekije aspekti.* М.: Vita-press, 1998. 256 p.
7. **Tihonov A. N., Ivannikov A. D., Cvetkov V. Ja.** Образовательные услуги как инструмент качества образования. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* 2009. N. 3. P. 94—96.
8. **Tihonov A. N., Ivannikov A. D., Domrachev V. G., Retinskaja I. V.** *Obrazovatel'nye internet-resursy.* М.: Prosveshhenie, 2004. 287 p.
9. **Ivannikov A. P., Tihonov A. N.** Osnovnye polozheniya koncepcii sozdaniya sistemy obrazovatel'nyh portalov. *Internet-portaly: sodержanie i tehnologii: Sb. nauch. st. V. 1.* М.: Prosveshhenie, 2003. P. 8—18.
10. **Ivannikov A. D.** Tematicheskie internet-portaly kak sredstvo agregacii jelektronnogo kontenta v zadannoj predmetnoj oblasti. *Informacionnye tehnologii.* 2014. № 3. P. 43—48.
11. **Tihonov A. N., Ivannikov A. D., Gridina E. G., Kurakina N. I., Simonov A. V., Chinnova I. I.** Kompleksnyj analiz sistemy federal'nyh obrazovatel'nyh portalov. *Internet-portaly: sodержanie i tehnologii: Sb. nauch. st. V. 2.* М.: Prosveshhenie, 2004. P. 192—226.
12. **Bulgakov M. V., Gridina E. G., Ivannikov A. D., Staryh V. A.** Federal'naja sistema informacionno-obrazovatel'nyh resursov. *Informacionnye resursy Rossii.* 2009. N. 2. P. 25—27.
13. **Tihonov A. N., Ivannikov A. D., Bulgakov M. V., Gridina E. G., Vnотченко S. S., Bulakina M. B., Nosov V. P., Chinnova I. I., Jakivchuk E. E.** O standarte metadannih informacionnih obrazovatel'nyh resursov dlja internet katalogov. *Internet-portaly: sodержanie i tehnologii: Sb. nauch. st. V. 3.* М.: Prosveshhenie, 2005. P. 26—47.
14. **Abramov A. G., Bulakina M. B., Bulgakov M. V., Vnотченко S. S., Zybarev E. Ju., Ivannikov A. D., Sigalov A. V.** Informacionnye razdely i servisy federal'nyh obrazovatel'nyh portalov: opyt razrabotki i soprovozhdeniya. *Informaticzacija obrazovaniya i nauki.* 2009. 3. P. 51—64.

А. В. Мальцев, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, e-mail: avmaltcev@mail.ru

Технология формирования детальной текстуры земной поверхности для космических тренажерных комплексов

Чтобы достичь высокой реалистичности синтезируемых изображений трехмерной виртуальной модели Земли в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов, необходимо использовать в процессе визуализации текстуру земной поверхности, имеющую высокую детализацию. В данной работе предлагается технология формирования такой текстуры из исходного набора фотоизображений небольших участков Земли одинакового размера, называемых "тайлами", в целях дальнейшего применения этой текстуры при рендеринге моделей Земли в системах визуализации, использующих технологию сверхбольших текстур. Рассматриваемые подходы основаны на применении распределенных вычислений на графических процессорах с поддержкой архитектуры CUDA.

Ключевые слова: визуализация, видеотренажеры, текстуры земной поверхности, параллельные вычисления, графические процессоры

Введение

В настоящее время к имитационно-тренажерным комплексам, используемым в различных научно-технических областях, все чаще предъявляется требование высокой реалистичности визуализируемых на компьютерах трехмерных виртуальных моделей. Особенно важно выполнение этого требования в области космических тренажерных систем для обучения и подготовки космонавтов. К виртуальным моделям, изображения которых синтезируются в таких системах, относятся, например, модели Международной космической станции (МКС), транспортных и грузовых кораблей, Земли. Каждый из этих объектов составляет важную часть правильного восприятия окружающей космонавта обстановки. Для обеспечения высокой реалистичности синтезируемых изображений Земли необходимо иметь детализированную текстуру ее поверхности.

В данной работе рассматривается задача синтеза детализированной текстуры высокого разрешения для модели Земли, визуализируемой с использованием технологии сверхбольших текстур [1]. В качестве исходных данных берется набор *тайлов* — фотоизображений небольших участков земной поверхности. Все тайлы имеют одинаковый размер в пикселях и представлены в проекции Меркатора WGS84, которая является сейчас одним из наиболее распространенных форматов для изображений, получаемых со спутников. На практике же в системах визуализации для тренажерных комплексов, как правило, применяется другой вид проекции —

эквилидистантная цилиндрическая [2]. Кроме того, и свободно распространяемые, и доступные для коммерческого использования наборы тайлов обычно не включают в себя крупные водные поверхности (озера, моря, океаны). То есть тайлы, не содержащие суши, просто отсутствуют в таких исходных данных. В результате синтеза высокодетализированной текстуры земной поверхности, подходящей для дальнейшего использования в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов, необходимо получить полную (т. е. описывающую всю поверхность Земли) текстуру с эквидистантной цилиндрической проекцией.

Для решения поставленной задачи в данной работе предлагается технология распределенного формирования текстуры Земли, основанная на использовании современных многоядерных графических процессоров с поддержкой архитектуры параллельных вычислений *CUDA*. Описываемая технология включает преобразование текстурных карт высокого разрешения из проекции Меркатора в эквидистантную проекцию, а также бесшовное добавление в подготавливаемое изображение отсутствующих в исходных данных водных поверхностей с плавным переходом между ними и сушей.

1. Принцип формирования детализированной текстуры Земли

Рассмотрим общий принцип подготовки детализированной текстуры земной поверхности. Поскольку исходные данные представлены в виде набора тайлов, то для начала осуществим склейку

этих тайлов в единое изображение M высокого разрешения. При этом участки водной поверхности, для которых тайлы отсутствуют, заполним черным цветом. Для хранения и обработки текстуры M будем использовать несжатый формат данных *Photoshop RAW* 24 бит/пиксель (по 8 бит на каждую из цветовых компонент R, G, B).

Получившееся в результате склейки изображение M , как и исходные тайлы, будет представлено в проекции Меркатора [2] — равноугольной картографической проекции, сохраняющей углы между направлениями (рис. 1). Меридианы в ней обозначаются параллельными равноотстоящими линиями, а параллели — параллельными линиями, расстояние между которыми увеличивается при движении от экватора к полюсам. В связи с тем что формула отображения координат на эллипсоиде в координаты на плоскости содержит функцию тангенса, аргумент которой при приближении к полюсам стремится к $\pi/2$, то сами полюсы не могут быть представлены на проекции Меркатора. Поэтому обычно такую карту ограничивают областями до $80\text{--}85^\circ$ северной и южной широты. Масштаб на карте Меркатора не является постоянным, он увеличивается от экватора к полюсам (как обратный косинус широты).

Для применения создаваемой текстуры при визуализации модели Земли удобно использовать другой вид проекции — эквидистантную цилиндрическую (рис. 2). Она является равнопромежуточной, т. е. и меридианы, и параллели представляют собой равноудаленные прямые линии, а масштаб сохраняется в направлении от экватора к полюсам. В отличие от проекции Меркатора, данная проекция охватывает широтный интервал от 90° северной до 90° южной широты, а значит, включает полюсы.

Преобразование имеющейся текстуры M с проекцией Меркатора в текстуру E с эквидистантной цилиндрической проекцией и добавление к E недостающих водных поверхностей будем осуществлять с использованием графического процессора (*GPU*), поддерживающего архитектуру параллельных вычислений *CUDA*. Каждое из ядер *GPU* при этом будет заниматься вычислением результирующего цвета отдельного пикселя из E (данный процесс подробно описан в разд. 2). Но прежде чем приступить к этим расчетам, необходимо подготовить дополнительную текстуру T' , на основе которой будет происходить добавление водных поверхностей к текстуре E .

T' является модифицированным вариантом так называемой текстуры маски T земной поверхности, в которой белым цветом (1.0 в числовом эквиваленте) отображается суша, а черным (0.0) — водные поверхности. Использование черно-белого варианта маски отразилось бы в ярко выраженных границах между сушей в текстуре E и добавленными к ней водными поверхностями. Чтобы избежать

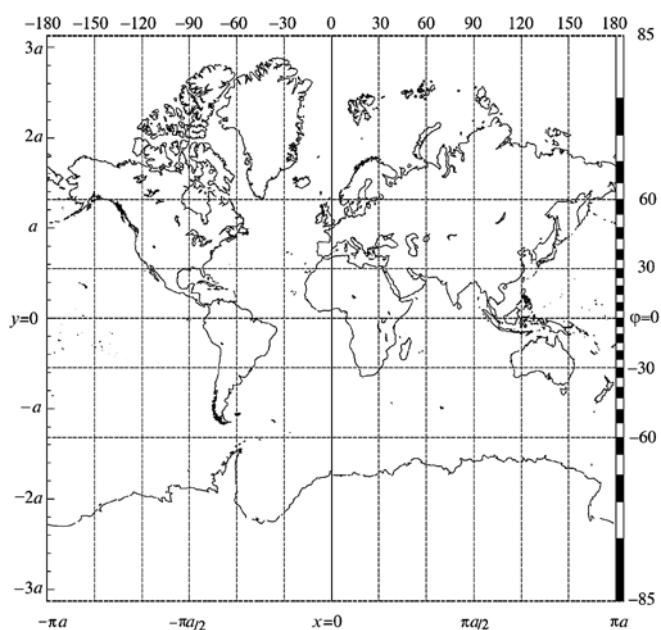


Рис. 1. Проекция Меркатора:
 a — длина большой полуоси земного эллипсоида; φ — широта в градусах

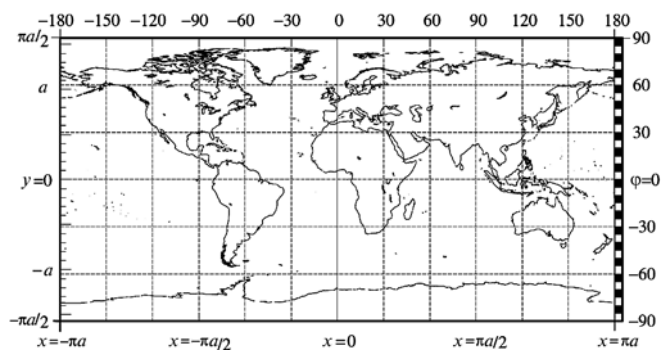


Рис. 2. Эквидистантная проекция

резких цветовых границ и получить сглаженные переходы от суши к воде (сохранить цвета прибрежного шельфа), в данной работе предлагается применять маску T' в градациях серого цвета (в отрезке $[0.0, 1.0]$). Размер T' в пикселях должен быть эквивалентным размеру E . Заметим, что, благодаря выполняемому преобразованию проекции при переходе от исходной текстуры M к текстуре E , сам размер E отличен от размера M . А именно, для эквидистантной цилиндрической проекции характерно соотношение 2:1 ширины и высоты карты [2]. Следовательно, если синтезировать текстуру E с шириной W_e (в пикселях), равной ширине W_m текстуры M , то ее высота H_e будет равна $W_m/2$.

Для создания текстуры T' необходимо осуществить размытие границ областей суши на изображении T в пределах $0,0003\dots 0,0005\%$ от большего из размеров T . Чтобы береговая линия после слияния E и текстуры водной поверхности осталась четкой, размытие должно проводиться непосредственно от границ белых областей в направлении черных. На

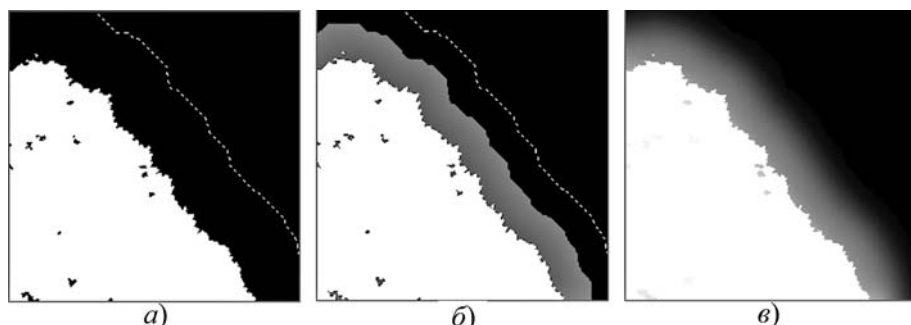


Рис. 3. Процесс размытия границ в текстуре маски: исходный участок маски с выделенной областью размытия (а); модификация области размытия (б); результирующий участок маски после применения размытия по Гауссу (в)

рис. 3 процесс размытия границ проиллюстрирован на примере отдельного участка текстуры T . Область размытия G для данного участка выделена пунктиром (рис. 3, а). Половину данной области, прилежащую к суше, заполним серым цветом с числовым эквивалентом 0,5 (рис. 3, б), после чего применим к G фильтр размытия по Гауссу. В результате использования фильтра получаем участок требуемой текстуры T' (рис. 3, в) — модифицированной маски. Указанные операции с текстурой удобно выполнять в графическом редакторе Adobe Photoshop, используя заранее подготовленный сценарий, описывающий необходимые действия.

Резюмируя все сказанное выше, получаем следующую технологию создания текстуры земной поверхности.

I. Склейка исходных тайлов в текстуру M в проекции Меркатора.

II. Подготовка текстуры маски.

1. Приведение исходной черно-белой текстуры T маски к размеру формируемой текстуры E .

2. Модификация T с получением маски T' в градациях серого, размывающей резкую цветовую границу между прибрежным шельфом в текстуре E и добавляемой к ней водной поверхностью.

III. Формирование текстуры земной поверхности с использованием GPU.

1. Преобразование M из проекции Меркатора в эквидистантную цилиндрическую проекцию с получением текстуры E .

2. Добавление в E водных поверхностей с учетом подготовленной маски T' .

Далее подробно рассмотрим метод формирования на графическом процессоре результирующей текстуры с эквидистантной цилиндрической проекцией.

2. Синтез текстуры на GPU

Пусть M (рис. 4, а) — текстура земной поверхности с проекцией Меркатора, имеющая размер $W_m \times H_m$ пикселей (W_m и H_m кратны 2); X_m и Y_m — оси системы координат Меркатора, I_m и J_m — оси системы координат для индексирования пикселей из M . Начальные точки обеих систем совпадают и

находятся в середине карты M . Кроме того, пусть результирующая текстура E с эквидистантной цилиндрической проекцией (рис. 4, б) имеет размер $W_e \times H_e$ пикселей, X_e и Y_e — оси широтно-долготной системы координат; I_e и J_e — оси системы координат для индексирования пикселей из E . Начальные точки этих систем также совпадают и располагаются в центре текстуры E . Чтобы при преобразовании сохранить исходное разрешение

текстуры по оси абсцисс, возьмем $W_e = W_m$. Тогда, как было отмечено в разд. 1, $H_e = W_m/2$.

Будем предполагать, что имеющаяся текстура M создана на основе представления формы Земли в виде эллипсоида вращения. Поэтому, чтобы выполнять преобразование проекции, возьмем за основу формулы перевода широты φ и долготы λ для эквидистантной цилиндрической проекции в координаты x_m и y_m карты Меркатора для эллипсоида [2, 3]:

$$x_m = a\lambda,$$

$$y_m = Y(\varphi) = a \ln \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right), \quad (1)$$

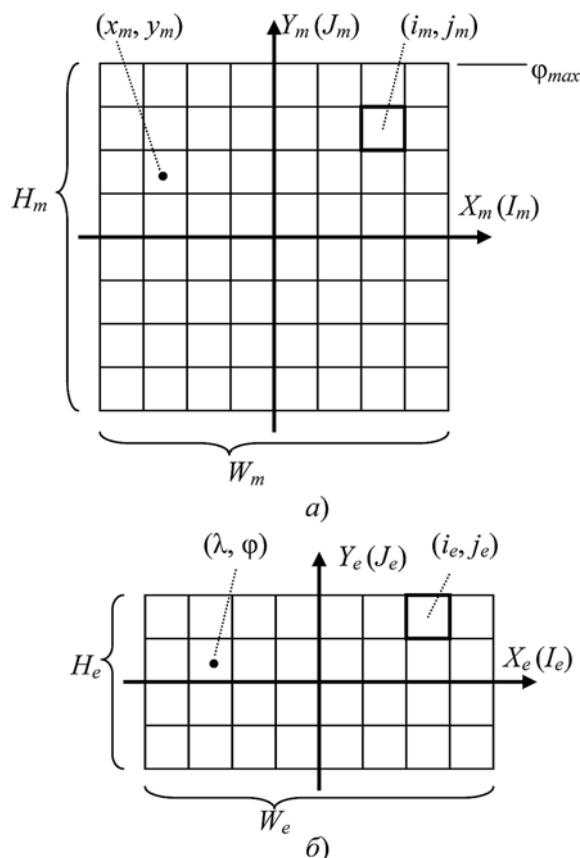


Рис. 4. Текстуры поверхности Земли: а — M в проекции Меркатора; б — E в эквидистантной проекции

где $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$, a и b — соответственно большая и малая полуоси земного эллипсоида (в рассматриваемой системе WGS84 $a = 6378137,0$, $b = 6356752,3142$).

Введем коэффициент масштабирования ρ_m для пересчета непрерывных координат y_m карты Меркатора в дискретные координаты j_m пикселей имеющейся у нас текстуры земной поверхности в проекции Меркатора:

$$\rho_m = \frac{Y(\varphi_{\max}) - Y(0)}{P},$$

где $P = \frac{H_m}{2}$, φ_{\max} — географическая широта, соответствующая верхней строке пикселей (с координатой $j_m = \frac{H_m}{2} - 1$) текстуры M (рис. 4, а). Тогда, зная координату j_m пикселя, легко найти для него y_m , и наоборот:

$$y_m = \rho_m j_m, \quad j_m = \left\lfloor \frac{y_m}{\rho_m} \right\rfloor, \quad (2)$$

где скобки обозначают целую часть числа.

Аналогично, пусть коэффициент масштабирования ρ_e для пересчета непрерывных широтных координат (в радианах) в дискретные координаты j_e пикселей текстуры земной поверхности в эквидистантной цилиндрической проекции равен

$$\rho_e = \frac{\pi}{H_e},$$

тогда по значению широты φ можно вычислить координату j_e :

$$j_e = \left\lfloor \frac{\varphi}{\rho_e} \right\rfloor. \quad (3)$$

Поскольку, как упоминалось ранее, представленные в карте Меркатора максимальная φ_{\max} и минимальная φ_{\min} широты составляют не более 85° северной и южной широты соответственно, то при преобразовании проекции текстура M отобразится только в центральную область U (с индексами $j_e \in [j_{e, \min}, j_{e, \max}]$) текстуры E , содержащей широты $\varphi \in [-90^\circ, 90^\circ]$ (рис. 5). Используя формулу (3), получим

$$j_{e, \min} = \left\lfloor \frac{\varphi_{\min}}{\rho_e} \right\rfloor, \quad j_{e, \max} = \left\lfloor \frac{\varphi_{\max}}{\rho_e} \right\rfloor.$$

Области текстуры E , лежащие за пределами U и отсутствующие в исходной карте M , закрасим в цвет C , который может быть задан постоянной величиной, соответствующей цвету

водной поверхности, или может браться из соответствующего пикселя дополнительной менее детальной, но полной текстуры E_{add} земной поверхности (в той же цилиндрической проекции), приведенной к эквивалентному E размеру в пикселях.

Для формирования области U необходимо определить соответствие ее пикселей пикселям текстуры M . Поскольку и карта Меркатора, и эквидистантная проекция охватывают долготный диапазон $[-\pi, \pi]$, $W_e = W_m$, а масштаб карты Меркатора по оси Y растет от экватора к полюсам, то каждому пикселю $(i_e, j_e) \in U$ соответствует отрезок R из некоторого числа r пикселей $(i_m, j_{m, k}) \in M$, где $i_m = i_e$ и $k \in [0, r - 1]$ (рис. 5). Чтобы определить границы $j_{m, 0}$ и $j_{m, r-1}$ этого отрезка, используем формулы (1)–(3). Вначале из равенства (3) найдем значения широт, соответствующих верхней и нижней границам рассматриваемого пикселя (i_e, j_e) текстуры E :

$$\varphi_{top} = \rho_e(j_e + 1); \quad \varphi_{bottom} = \rho_e j_e.$$

Далее, подставляя их в формулу (1) и учитывая равенство (2), получим

$$j_{m, r-1} = \left\lfloor \frac{Y(\varphi_{top})}{\rho_m} \right\rfloor, \quad j_{m, 0} = \left\lfloor \frac{Y(\varphi_{bottom})}{\rho_m} \right\rfloor. \quad (4)$$

Заметим, что для всех пикселей, лежащих в одной строке, $j_{m, 0}$ и $j_{m, r-1}$ являются одинаковыми.

Цвет пикселей из области U будем вычислять с использованием графического процессора, поддерживающего архитектуру параллельных вычислений *CUDA*. Обработку будем вести по строкам пикселей. При этом необходимо для каждой такой строки с координатой j_e загрузить в память видеоадаптера определенный набор данных: массив G_M из N строк пикселей (с $j_{m, 0}$ по $j_{m, r-1}$ включительно, $j_{m, 0}$ и $j_{m, r-1}$ находим по формуле (4), $N = j_{m, r-1} - j_{m, 0} + 1$) текстуры M ; строки с координатой j_e из текстуры маски T' и дополнительной текстуры E_{add} (содержащей цвет водных поверхностей). Вместо E_{add} можно использовать один определенный цвет, соответствующий цвету водной поверхности. Число строк из U , обрабатываемых за

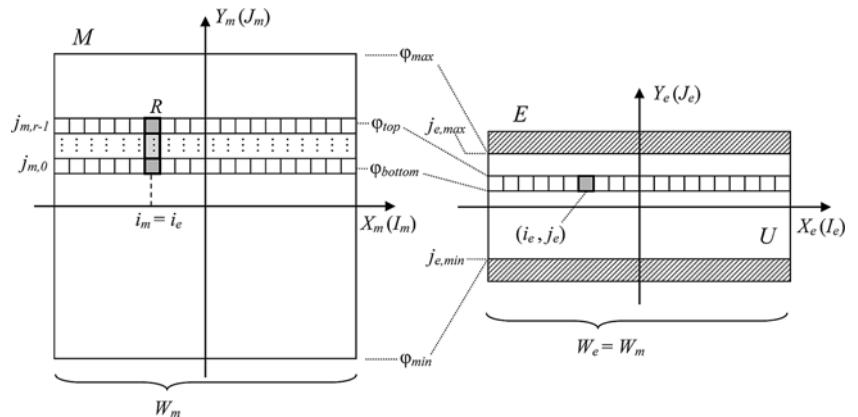


Рис. 5. Отображение текстуры M в проекции Меркатора на область U текстуры E в эквидистантной проекции

один цикл выполнения программы на GPU, зависит от объема памяти видеокарты.

Рассмотрим обработку одной строки в цикле. Каждый поток (ядро процессора) будет вычислять результирующий цвет $E(i_e, j_e)$ некоторого пикселя i_e из строки j_e , имеющего в формируемой эквидистантной текстуре E координаты (i_e, j_e) . Для этого вначале определим цвет $C_E(i_e, j_e)$, получаемый в результате преобразования проекции, как среднее арифметическое цветов пикселей с индексом i_e из N загруженных ранее строк текстуры M (данные пиксели входят в упомянутый выше отрезок R):

$$C_E(i_e, j_e) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} G_M(i_e, j_k). \quad (5)$$

Далее выполним добавление цвета отсутствующей водной поверхности с использованием подготовленной ранее текстуры T' маски. При этом цвет $E(i_e, j_e)$ пикселя текстуры E вычислим по формуле

$$E(i_e, j_e) = \begin{cases} C_E(i_e, j_e), & \text{если } T'(i_e, j_e) = 1,0; \\ C_E(i_e, j_e), T'(i_e, j_e) + C_w(1 - T'(i_e, j_e)), & \text{если } 0,0 < T'(i_e, j_e) < 1,0; \\ C_w, & \text{если } T'(i_e, j_e) = 0,0, \end{cases} \quad (6)$$

где $T'(i_e, j_e)$ — числовой эквивалент цвета соответствующего пикселя маски; C_w — цвет водной поверхности, равный $E_{add}(i_e, j_e)$ или некоторому заданному постоянному цвету. Добавление водных поверхностей осуществляется практически без швов и обеспечивает возможность сохранения цвета прибрежного шельфа, если он имеется в исходном наборе тайлов.

После завершения обработки строки на GPU необходимо скопировать результат из памяти видеокарты обратно в оперативную память (ОП) или на жесткий диск.

Таким образом, мы рассмотрели следующий алгоритм синтеза текстуры земной поверхности с использованием GPU.

1. Определение области U (с индексами $j_e \in [j_{e, \min}, j_{e, \max}]$) текстуры E , на которую отображается текстура M .

2. Заполнение областей $j_e < j_{e, \min}$ и $j_e > j_{e, \max}$ цветом из дополнительной текстуры E_{add} с меньшей детализацией.

3. Для каждой строки j_e (или нескольких строк) из U :

3.1. Определение соответствующего массива строк G_M в текстуре M по формуле (4).

3.2. Копирование G_M , а также строк $T'(j_e)$ и $E_{add}(j_e)$ в память видеoadаптера.

3.3. В каждом потоке $n \in [0, W_e - 1]$ графического процессора:

а) определение индекса $i_e = n - W_e/2$;

б) вычисление по формуле (5) цвета C_E пикселя (i_e, j_e) текстуры E , получаемого при преобразовании проекции;

в) расчет результирующего цвета $E(i_e, j_e)$ пикселя (i_e, j_e) текстуры E путем смешения C_E и цвета водной поверхности из дополнительной текстуры E_{add} (или постоянного цвета) с коэффициентом, взятым из текстуры T' маски, по формуле (6).

3.4. Копирование результата из памяти видеoadаптера в ОП или на жесткий диск.

3. Результаты

На основе предложенных в статье технологии и алгоритмов был разработан программный комплекс, выполняющий синтез текстуры земной поверхности с высокой детализацией для ее последующего использования при визуализации модели Земли в космических имитационно-тренажерных системах. Комплекс состоит из двух приложений (*Tile worker*, *Texture creator*) и одного сценария для программы *Adobe Photoshop*. *Tile worker* обеспечивает сборку текстуры высокого разрешения из набора тайлов формата *BMP* в несжатый *RAW*-файл, а также нарезку такой текстуры из единого изображения на тайлы необходимого размера (поддерживаются несколько форматов записи). *Texture creator* отвечает за синтез на GPU результирующей полной текстуры земной поверхности в эквидистантной цилиндрической проекции в формате *RAW*. Сценарий, в свою очередь, обеспечивает возможность создания в *Photoshop* необходимой для *Texture creator* текстуры маски.

Данный программный комплекс апробирован при подготовке текстуры поверхности для модели Земли, разработанной в Центре визуализации и спутниковых информационных технологий (ЦВИСИТ) НИИСИ РАН. На рис. 6 (см. третью сторону обложки) представлено изображение, сгенерированное системой визуализации реального времени "GLView" [4], также созданной в ЦВИСИТ, в результате рендеринга моделей Земли и Международной космической станции (МКС).

Работа выполняется при поддержке РФФИ, проект 14-07-31332.

Список литературы

1. Тимохин П. Ю., Михайлюк М. В. Сверхбольшие текстуры для высоко реалистичной визуализации виртуальных ландшафтов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 3. С. 17–25.
2. Osborne P. The Mercator projections // Virgin Media Inc. Edinburgh, 2013. 254 p. URL: <http://www.mercator99.webspace.virgin-media.com/mercator.pdf> (дата обращения 8 сентября 2014).
3. Evenden G. I. Libproj4: A Comprehensive Library of Cartographic Projection Functions // Falmouth, MA, USA. 2008. 141 p. URL: <http://home.comcast.net/~gevendend56/proj/manual.pdf> (дата обращения 8 сентября 2014).
4. Михайлюк М. В., Торгашев М. А. Система "GLView" визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник РАН. 2011. Т. 11, № 2. С. 20–28.

The Formation Technology of Earth's Detailed Surface Texture for Space Training Complexes

To achieve high realism when synthesizing images of Earth's three-dimensional virtual model for space simulation-training complexes of cosmonaut training, highly detailed texture of Earth's surface must be used in visualization process. At this work the technology are proposed for generation such texture from initial photographic image set of Earth's small plots of same size (also called "tiles") to further application this texture when Earth's models are rendered in visualization systems using ultra-large texture technology. Considered approaches are based on using distributed computing on GPU with CUDA architecture. Furthermore, in this paper the software complex that has been created based on proposed decisions is described. This complex consists of two applications for Microsoft Windows operating system and one script for the program Adobe Photoshop. They together allow user to prepare required texture of Earth's surface by few steps.

Keywords: visualization, video trainers, Earth's surface textures, parallel computing, graphics processors

References

1. Timohin P. Ju., Mihajljuk M. V. Sverhbol'shie tekstury dlja vysoko realistichnoj vizualizacii virtual'nyh landshaftov. *Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy*. 2013. N. 3. P. 17–25.

2. Osborne P. *The Mercator projection*. Virgin Media Inc. Edinburgh, 2013. 254 p. URL: <http://www.mercator99.webspace.virgin-media.com/mercator.pdf> (accessed 8 September 2014).

3. Evenden G. I. *Libproj4: A Comprehensive Library of Cartographic Projection Functions*. Falmouth, MA, USA. 2008. 141 p. URL: <http://home.comcast.net/~gevendend56/proj/rmanual.pdf> (accessed 8 September 2014).

4. Mihajljuk M. V., Torgashev M. A. Sistema "GLView" vizualizacii dlja modelirujushhih kompleksov i sistem virtual'noj real'nosti. *Vestnik RAEN*. 2011. V. 11, N. 2. P. 20–28.

УДК 004.925

П. Ю. Тимохин, науч. сотр., e-mail: webpismo@yahoo.de,
М. А. Торгашев, канд. физ.-мат. наук, зав. сектором, e-mail: mtorg@mail.ru,
Научно-исследовательский институт системных исследований РАН

Визуализация космических сцен в расширенном диапазоне в режиме реального времени

Рассматривается задача визуализации космических сцен в реальном режиме времени. В связи с отсутствием атмосферы в космосе свет имеет очень жесткий характер и изображения, наблюдаемые космонавтом на орбите, имеют огромный динамический диапазон. Одним из эффективных подходов для решения задачи адекватного моделирования подобной визуальной обстановки является синтез изображения виртуальной сцены в расширенном динамическом диапазоне с последующим приведением к диапазону средства отображения. Предлагается новая технология решения этой задачи в реальном времени с использованием параллельных вычислений на графическом процессоре. Подробно рассмотрены вопросы расчета средней и максимальной яркости кадра, моделирования эффекта "заплывания" и приведения изображения сцены к стандартному диапазону с помощью модифицированной версии глобального тонального оператора Рейнхарда.

Предложен новый подход к вычислению средней яркости, имеющий ряд преимуществ перед существующими решениями, а также разработан и реализован более эффективный алгоритм вычисления глобальных яркостных характеристик кадра с использованием геометрического шейдера.

Ключевые слова: визуализация, расширенный диапазон, тональный оператор, космические видеотренажеры, параллельные вычисления

Введение

Во время тренировки космонавт наблюдает в тренажере синтезированное изображение, имитирующее либо изображение, получаемое с помощью

различных телекамер, в которых фиксация света выполняется с помощью фотосенсора (светочувствительной матрицы), либо путем наблюдения невооруженным глазом (иллюминаторы). Как известно, в связи с отсутствием атмосферы в космосе свет

имеет очень жесткий характер, и наблюдаемая визуальная обстановка имеет огромный динамический диапазон. Яркость прямого освещения от Солнца на орбите МКС, например, составляет около $135 \cdot 10^3$ Кд/м². Для сравнения, свечение самой яркой звезды имеет значение около 0,18 Кд/м². При этом, когда в кадре телекамеры появляются одновременно очень яркие и очень темные области, в них происходит потеря контрастной детализации, а также возникает эффект "заплывания" изображения, при котором пиксели, соседние с пересвеченными областями, также засвечиваются.

Задача современных тренажеров — воспроизвести изображение максимально близким к тому, которое фиксируется камерой или наблюдает человек на орбите. Проблема заключается в том, что при выполнении расчета освещенности в стандартном диапазоне яркостей (Low Dynamic Range, LDR), в котором работают современные графические карты и средства отображения, воспроизвести корректный контраст исходного изображения практически невозможно. Это обусловлено ограниченностью представления цвета в LDR (обычно — 8 бит на цветовой канал) и линейностью преобразования результирующего цвета (в отличие от нелинейного преобразования в реальных камерах). В настоящее время подавляющее большинство мониторов имеет динамический диапазон, ограниченный двумя-тремя десятичными порядками. В последнее время активно разрабатываются и выходят на рынок HDR (High Dynamic Range) мониторы, однако их распространение и рыночная доля пока невелики.

Одним из эффективных подходов для решения проблемы являются синтез изображения виртуальной космической сцены в расширенном динамическом диапазоне HDR в специальную текстуру (16 или 32 бит на канал), ее обработка (добавление эффектов) и затем приведение полученного изображения в стандартный диапазон путем нелинейного тонального отображения. Выполнение преобразований в расширенном диапазоне позволяет качественно отредактировать изображение без потери точности и проявления эффектов постеризации. Преобразование изображений из расширенного диапазона в стандартный называется тонированием или тональным оператором (ТМО — tone mapping operator).

В рамках тренажерных и обучающих систем критическим требованием к алгоритму ТМО является соблюдение режима реального времени визуализации, т. е. с частотой синтеза изображений не менее 25 раз в секунду. При этом накладные расходы на выполнение данной операции не должны занимать существенную долю времени построения кадра, поскольку эта задача является все же менее приоритетной по сравнению с синтезом кадра, расчетом динамики и другими задачами тренажерной системы. Таким образом, при реализации ТМО требуется

наиболее эффективное использование всех возможностей современных аппаратных средств ускорения трехмерной графики.

В данной работе предлагается новая технология, позволяющая синтезировать в реальном времени изображения в расширенном диапазоне с использованием параллельных вычислений на графическом процессоре.

1. Существующие подходы к тональному отображению

Задача тонирования имеет давнюю историю, берущую начало от зарождения и развития эпохи фотографии, и в настоящее время это направление активно развивается. В различных исследованиях предложено большое число новых ТМО, а также различные подходы по их настройке и модификации. Ряд новых работ посвящен классификации, сравнению и оценке качества, а также практической реализации различных тональных операторов.

Рассмотрим обзорно классификацию существующих тональных операторов. Один из важных критериев, определяющих класс оператора, — его область применения (фото или видео). Значительная часть операторов рассчитана на работу с отдельными изображениями (фото) и не учитывает межкадровые изменения яркости объектов. Операторы же, ориентированные на видео, оперируют с последовательностью кадров.

Другой критерий классификации тональных операторов — пространственный, в соответствии с которым операторы подразделяются на глобальные и локальные. Глобальные операторы работают с пикселями кадра по единому алгоритму, функция обработки одинакова для всех пикселей кадра. Напротив, локальные операторы в общем случае имеют разную функцию преобразования для различных участков кадра, тем самым допуская локальную корректировку изображения. Очевидно, что локальные операторы при этом имеют более высокую вычислительную сложность.

Еще один важный критерий классификации тональных операторов — на основе каких моделей они построены. Первый класс алгоритмов, которые можно условно назвать психофизиологическими, основаны на моделях восприятия света с их ограничениями и особенностями и учитывают, например, такие моменты, как скорость адаптации глаза к различному уровню освещенности. Второй класс алгоритмов по этому критерию составляют тональные операторы, ориентированные на сохранение параметров исходного изображения (контраста, резкости и цветовой гаммы) при его отображении на устройствах с ограниченным диапазоном. Третий условный класс алгоритмов образуют операторы, разработанные на основе эвристических моделей для получения наилучших фото- или видеоизобра-

жений в терминах субъективного восприятия или изобразительного эффекта.

Несмотря на активные исследования в настоящий момент не существуют общепринятых объективных метрик для оценивания качества операторов и нет готовых рекомендаций по выбору того или иного оператора для конкретного применения. Хорошее исследование с оценкой различных тональных операторов приведено, например, в работе [1]. В соответствии с результатами данного и других подобных исследований сложные операторы тонирования не всегда обеспечивают лучшее субъективное качество. Более того, исследование показывает, что более сложные с вычислительной точки зрения локальные операторы зачастую имеют значительные визуально заметные артефакты, проявляющиеся в эффектах мерцания (flickering), появления ореолов (ghosting) и зашумления изображения.

В соответствии с анализом литературы и результатами практических экспериментов в данном исследовании за основу был взят глобальный оператор Рейнхарда [2, 3]. В работе предложена его модифицированная версия и оригинальная реализация с эффективным использованием высокопараллельных вычислений на графическом процессоре (GPU). Рассмотрим предлагаемую технологию более подробно.

2. Технология визуализации с модифицированным тональным отображением

Пусть заданы космическая трехмерная виртуальная сцена и функция синтеза изображения данной сцены, вычисляющая для каждого пикселя rgb -цвет, компоненты которого заданы в расширенном диапазоне в пределах $[0, L]$, где L — максимальная яркость света в сцене. Для визуализации такой сцены необходимо в каждом кадре для каждого пикселя вычислить rgb -цвет C_{LDR} , компоненты которого заданы в стандартном диапазоне в пределах $[0, 1]$. Для эффективного вычисления всех таких цветов в режиме реального времени в данной работе предлагается технология, использующая возможности современных графических ускорителей по выполнению быстрого синтеза и обработки данных, представленных в виде текстур, с помощью вершинных, геометрических и фрагментных шейдеров — программ, позволяющих параллельно обрабатывать графические примитивы и пиксели на многоядерном графическом процессоре. Предлагаемая технология включает в себя два этапа.

На *первом этапе* выполняется синтез текстуры, имеющей размеры кадра, с изображением виртуальной сцены в расширенном диапазоне. Для этого у всех источников освещения виртуальной сцены устанавливаются интенсивности излучения, близкие к реальным значениям (в Кд/м^2), и в графическом конвейере с помощью оператора `gl_CLAMP_Color` отключается автоматическое приведение rgb -компо-

нент цвета к диапазону $[0, 1]$. Синтез текстуры осуществляется с помощью технологии "рендеринга в текстуру", при которой экранный буфер цвета заменяется текстурой с увеличенной глубиной цвета (16 или 32 бит на цветовой канал) и вещественным форматом хранения rgb -компонент. Для устранения визуальных артефактов, связанных с алиасингом ("ступенчатостью" изображения сцены), при синтезе текстуры также выполняется сглаживание изображения. Так как при рендеринге сцены в текстуру недоступно выполнение автоматического сглаживания драйвером видеокарты, в данной работе для получения сглаженного изображения сцена вначале визуализируется в промежуточный мультисэмпливый буфер, из которого копируется с интерполяцией субпикселей в результирующую текстуру [4].

На *втором этапе* выполняется коррекция яркости синтезированной текстуры, включающая интеграцию в изображение эффекта "заплывания" ярких областей и приведение полученного изображения к стандартному диапазону яркостей. Для выполнения тонального отображения необходимо выделить канал яркости, и на его основе преобразовать исходные цветовые компоненты. Распространенный подход, когда тональное преобразование выполняется напрямую в цветовом пространстве RGB , приводит в ряде случаев к существенному искажению цветовых оттенков. Для устранения данной проблемы в исследовании применяется технология работы в цветовом пространстве $CIE\ xY$. В разделе 2.1 настоящей статьи рассматриваются вопросы, связанные с выделением канала яркости. В разделе 2.2 описывается графический фильтр, моделирующий эффект "заплывания", и приводится его реализация на основе двухпроходной шейдерной обработки. В разделе 2.3 описывается приведение изображения сцены к стандартному диапазону яркостей с помощью модифицированной версии глобального тонального оператора Рейнхарда. Рассматриваются вопросы, связанные с определением средней яркости кадра и предлагается алгоритм быстрого вычисления максимальной и средней яркости изображения с помощью геометрического шейдера.

2.1. Выделение канала яркости

Цвет каждого пикселя синтезированной на первом этапе текстуры несет в себе информацию о его яркости (luminance) и цветности (chrominance). Для интеграции эффекта "заплывания" и приведения полученного изображения к стандартному диапазону необходимо выделить яркость из rgb -компонент каждого пикселя, обработать ее и на основе полученной яркости вычислить новый цвет пикселя. Существует много способов выделения яркости и цветности из исходного rgb -цвета, при которых выделенные компоненты коррелируют между собой в различной степени, т. е. обработка одной компоненты порождает изменение двух других. В работах

[5, 6] показано, что при обработке яркости в расширенном диапазоне наличие такой сильной корреляции приводит к возникновению заметных сдвигов оттенков и насыщенности на результирующем изображении. Наибольшие искажения дает подход, при котором изменение яркости выполняется в цветовом пространстве RGB . В противоположность этому компоненты яркости и цветности, выделенные с помощью метода главных компонент (Principal Component Analysis, PCA), не коррелируют между собой, что позволяет при обработке яркости сохранить оттенок и насыщенность исходного цвета. Однако данный подход обладает высокими вычислительными затратами, что ограничивает его применение для визуализации в реальном времени. Тем не менее, данный подход является перспективным, и в настоящее время ведутся исследования по ускорению его работы путем распараллеливания вычислений на GPU [7]. "Золотой серединой" является подход, при котором цвет пикселя переводится из цветового пространства RGB в трехмерное цветовое пространство, одна координата которого задает яркость, а две других отвечают за цветность. В данном исследовании в качестве такого цветового пространства была выбрана цветовая модель $CIE\ xyY$, производная от эталонной модели $CIE\ XYZ$ измерения цвета. В модели $CIE\ xyY$ в компоненте Y хранится величина яркости, а в x и y — нормализованные значения, определяющие цветность.

Рассмотрим цвет C_{xyY} пикселя в пространстве $CIE\ xyY$ и исходный цвет C_{RGB} пикселя в пространстве RGB . Их компоненты связаны с помощью следующих соотношений:

$$C_{xyY} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X/(X+Y+Z) \\ Y/(X+Y+Z) \\ Y \end{pmatrix};$$

$$C_{XYZ} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xY/y \\ Y \\ (1-x-y)Y/y \end{pmatrix};$$

$$C_{XYZ} = M_{RGB \rightarrow XYZ} C_{RGB},$$

где C_{XYZ} — цвет пикселя в пространстве $CIE\ XYZ$, а $M_{RGB \rightarrow XYZ}$ — матрица преобразования цвета из пространства RGB в $CIE\ XYZ$. В данной работе яркость пикселя (компонента Y) выделяется с помощью матрицы $M_{RGB \rightarrow XYZ}$ заданной стандартом ITU-R BT.709 [5], и находится как

$$Y = 0,2126R + 0,7152G + 0,0722B. \quad (1)$$

Для вычисления нового цвета C'_{RGB} пикселя, полученного после обработки выделенной яркости Y , из компонент x , y цвета C_{xyY} и новой яркости Y' формируется цвет C'_{xyY} , для которого выполняется

обратное преобразование из пространства $CIE\ xyY$ в пространство RGB :

$$C'_{RGB} = M_{RGB \rightarrow XYZ}^{-1} \cdot C'_{XYZ} =$$

$$= M_{RGB \rightarrow XYZ}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} xY'/y \\ Y' \\ (1-x-y)Y'/y \end{pmatrix}.$$

Обозначив $k = Y'/Y$, получим

$$C'_{RGB} = k \cdot M_{RGB \rightarrow XYZ}^{-1} \cdot C'_{XYZ} =$$

$$= k \cdot M_{RGB \rightarrow XYZ}^{-1} \cdot M_{RGB \rightarrow XYZ} \cdot C_{RGB} = k \cdot C_{RGB}. \quad (2)$$

2.2. Реализация эффекта заплывания

Физическая природа эффекта заплывания изображения состоит в том, что при фиксации освещенности фоточувствительными датчиками на камере или фотоаппарате в случае избыточной яркости происходит переполнение ячеек, и заряд с них перетекает на соседние. В результате наблюдается эффект заплывания ярких областей, что выглядит как ореол — сияние вокруг пересвеченных областей с сопутствующим падением локального контраста. Для имитации данного эффекта используется технология, состоящая из следующих шагов. На первом этапе на исходном изображении в расширенном диапазоне выделяются пересвеченные области. Далее выполняется размытие полученного изображения и на заключительном этапе — его смешивание с исходным.

Выделение пересвеченных областей выполняется на основе порогового значения яркости, которое в данный момент может быть воспринято камерой. Для задания данного значения могут быть использованы различные подходы. Наиболее простой из них — установка порогового значения в зависимости от текущей максимальной яркости кадра:

$$L_T = qL_{\max},$$

где q — коэффициент ($q \leq 1$); L_{\max} — максимальная яркость кадра (см. раздел 2.3.). Могут также использоваться другие, более сложные подходы, например, на основе текущей экспозиции камеры, с учетом физических характеристик камеры и ее фоточувствительных элементов.

На следующем этапе выполняется размытие полученного изображения с яркими областями. Наиболее качественное и приближенное к реальному размытию обеспечивает гауссовский фильтр. Известно, что сложность гауссовского размытия двумерного изображения имеет вычислительную сложность $O(N^2)$, где N — размер пиксельной окрестности (размер фильтра). Однако формула размытия по Гауссу может быть разложена на два последова-

тельных преобразования — по осям X и Y соответственно:

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \right) = G_{\sigma}(x)G_{\sigma}(y),$$

где σ — параметр размытия, определяющий размер фильтра. Это означает, что размытие может быть выполнено последовательным применением двух одномерных фильтров — сначала по горизонтальной оси, потом по вертикальной или наоборот. В этом случае вычислительная сложность существенно меньше — $O(N)$. Для задания размера фильтра можно использовать различные подходы. Самый простой заключается в пользовательской регулировке данного параметра, что и было реализовано в данном исследовании. Более сложный подход может

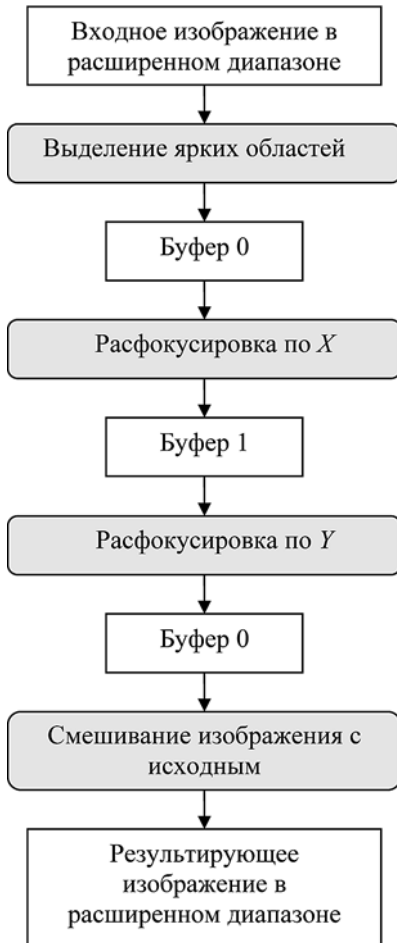


Рис. 1. Схема реализации эффекта заплывания изображения

состоять в его автоматической регулировке в зависимости от максимальной яркости кадра, разрешения экрана и других параметров.

После выполнения размытия пересвеченных областей выполняется смешивание полученного изображения с исходным. Общая схема реализации эффекта представлена на рис. 1. При реализации схемы используются два вспомогательных буфера (Буфер0 и Буфер1). Поскольку эффект не требует высокого разрешения (он сам по себе представляет размытие), то размер буфера может быть выбран значительно меньшим, чем у исходного изображения. Это позволяет существенно уменьшить расход памяти и число обрабатываемых пикселей. Экспериментально было установлено, что для качественного синтеза эффекта приемлемо использование вспомогательных буферов, имеющих разрешение по горизонтали и вертикали в 2 раза меньшее, чем у исходного изображения (при этом расход памяти уменьшается в 4 раза).

2.3. Тональное отображение

Для визуализации полученного HDR-изображения виртуальной сцены с примененным эффектом заплывания необходимо для каждого пикселя данного изображения вычислить цвет C_{LDR} в стандартном диапазоне. Такой цвет можно найти, вычислив яркость пикселя L_{LDR} в стандартном диапазоне и подставив ее в следующее соотношение (см. выражение (2)):

$$C_{LDR} = \frac{L_{LDR}}{L_{HDR}} C_{HDR},$$

где C_{HDR} — исходный rgb -цвет пикселя в расширенном диапазоне, а L_{HDR} — яркость пикселя, вычисленная из компонент цвета C_{HDR} согласно (1). В данной работе яркость L_{LDR} предлагается вычислить с помощью модифицированной версии глобального тонального оператора Рейнхарда [2, 3, 5]:

$$L_{LDR} = \frac{L_{scaled} \left(1 + \frac{L_{scaled}}{L_{white}^2} \right)}{1 + L_{scaled}}.$$

Здесь $L_{scaled} = aL_{HDR}/\bar{L}_{HDR}$ — яркость, линейно отображенная в стандартный диапазон с помощью ключевого элемента кадра a (аналог экспозиции в фотокамере) и средней яркости \bar{L}_{HDR} изображения в расширенном диапазоне, а $L_{white} = aL_{HDR, \max}/\bar{L}_{HDR}$ — наименьшая яркость в кадре, которая должна быть отображена в 1 (соответствует белому цвету), где $L_{HDR, \max}$ — максимальная яркость пикселя в кадре.

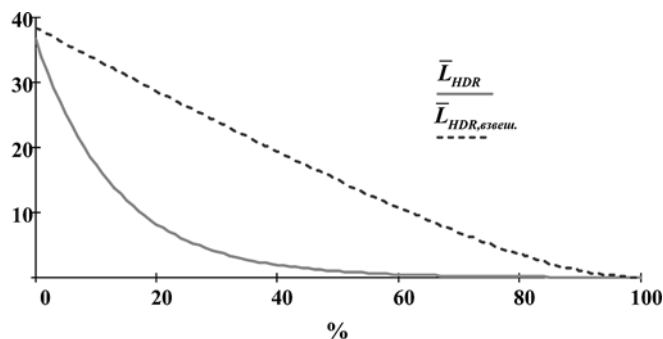


Рис. 2. Зависимость \bar{L}_{HDR} и $\bar{L}_{HDR, взвеш}$ от процентного содержания темных пикселей в кадре

В оригинальной версии глобального оператора Рейнхарда \bar{L}_{HDR} вычисляется как среднее геометрическое

$$\bar{L}_{HDR} = \exp\left(\frac{1}{N} \sum \ln(L_{HDR} + \delta)\right),$$

где N — число пикселей, по которым выполняется усреднение; δ — малая константа для обработки случая $L_{HDR} = 0$. Исследование показало, что такой способ вычисления средней яркости кадра очень чувствителен к появлению в кадре пикселей с яркостью, близкой к 0. Из рис. 2 видно, что уже при наличии 10 % таких пикселей средняя яркость \bar{L}_{HDR} падает почти в 2 раза, что приводит к быстрому росту тональной кривой (рис. 3, а, см. третью сторону обложки) и, как следствие, пересвечиванию областей с умеренной и высокой яркостью. В процессе визуализации динамических космических сцен процентное содержание темных пикселей на изображении меняется, и такое "плавание" яркости объектов в кадре приводит к появлению визуальных артефактов.

Для уменьшения такой зависимости от пикселей с низкой яркостью в данной работе предлагается вычислять среднюю яркость кадра как среднее геометрическое взвешенное

$$\bar{L}_{HDR, взвеш} = \exp(\sum w \ln(L_{HDR} + \delta) / \sum w),$$

где в качестве весового коэффициента w пикселя предлагается использовать функцию $1 - \exp(-L_{HDR})$. При таком подходе пиксели с низкой яркостью оказывают малое влияние на среднее значение (см. рис. 2), в то время как вклад ярких пикселей сохраняется практически на прежнем уровне, что позволяет получить более сбалансированную тональную кривую (рис. 3, б, см. третью сторону обложки).

Рассмотрим более подробно вопрос реализации вычисления средней и максимальной яркостей кадра. Нетрудно заметить, что вычисление этих величин для современных средств отображения с высоким разрешением (Full HD, Ultra HD) предпо-

лагает обработку огромного числа пикселей в каждом кадре визуализации. Во многих практических работах для уменьшения вычислительных затрат средняя и максимальная яркости вычисляются на основе небольшой выборки пикселей кадра (обычно для этого дополнительно синтезируется текстура яркости кадра более низкого разрешения). Такой подход позволяет обеспечить режим реального времени, однако при визуализации динамических сцен приводит к возникновению эффекта мерцания яркости изображения.

В данной работе предлагается следующий подход, позволяющий быстро вычислить максимальную яркость $L_{HDR, max}$ и среднюю яркость $\bar{L}_{HDR, взвеш}$ с учетом яркости каждого пикселя кадра. Поставим в соответствие каждому (i, j) -му текселу текстуры T с изображением сцены (рис. 4) вершину V , имеющую координаты $(0, 0)$ и $rgba$ -цвет $(w \ln(L_{HDR} + \delta), w, 0, L_{HDR})$, где a — альфа-канал. Определим новую

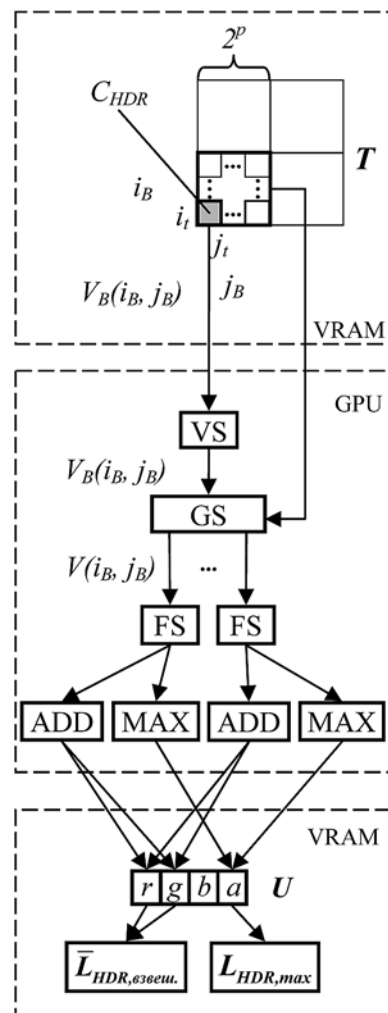


Рис. 4. Схема вычисления $\bar{L}_{HDR, взвеш}$ и $L_{HDR, max}$ на графическом процессоре

rgba-текстуру U глубины 32 бит и размером 1×1 тексел. Обнулим значения тексела этой текстуры перед началом работы. Предлагаемая шейдерная программа будет отображать вершину V в текстуру U , добавляя цвет вершины в каналы r и g с помощью операции "+", а в альфа-канал — с помощью операции "max" (в OpenGL такой режим смешивания цвета устанавливается с помощью оператора `glBlendEquationSeparate(GL_FUNC_ADD, GL_MAX)`). В результате такого рендеринга все вершины попадут в один и тот же тексел текстуры U . При этом в цветовых каналах r и g будут накоплены суммы $\sum w \ln(L_{HDR} + \delta)$ и $\sum w$, а в альфа-канале будет записано значение максимальной яркости $L_{HDR \max}$. Для конечного вычисления средней яркости \bar{L}_{HDR} взвеш текстурa U выгружается в оперативную память, где выполняется взятие экспоненты от частного, полученного делением компоненты r на g .

Прямая реализация данной идеи, при которой все вершины визуализируются с помощью вершинного (VS) и фрагментного (FS) шейдера, активно расходует вычислительный ресурс GPU и ресурс канала видеопамати — GPU, что ограничивает общую скорость визуализации сцены. Существенно уменьшить число вершин, подлежащих визуализации, можно за счет использования геометрического шейдера (GS). В графическом конвейере геометрический шейдер позволяет передать на обработку лишь одну вершину и обработать целый блок, связанный с этой вершиной. Поэтому разобьем текстуру T на блоки размера $2^p \times 2^p$ текселов (рис. 4) и выберем в каждом блоке крайний левый нижний тексел. Номера этих текселов будут иметь вид $(i_B 2^p, j_B 2^p)$, где i_B, j_B — номера строки и столбца блока текселов в текстуре T . Для этих текселов создадим массив вершин M_{V_B} , вершины V_B которого и будут отосланы в геометрический шейдер. Получив такую вершину, шейдер вычисляет $\sum w \ln(L_{HDR} + \delta)$, $\sum w$ и максимальную яркость для блока текселов, соответствующего входной вершине. На выходе шейдер генерирует вершину V с координатами $(0, 0)$ и

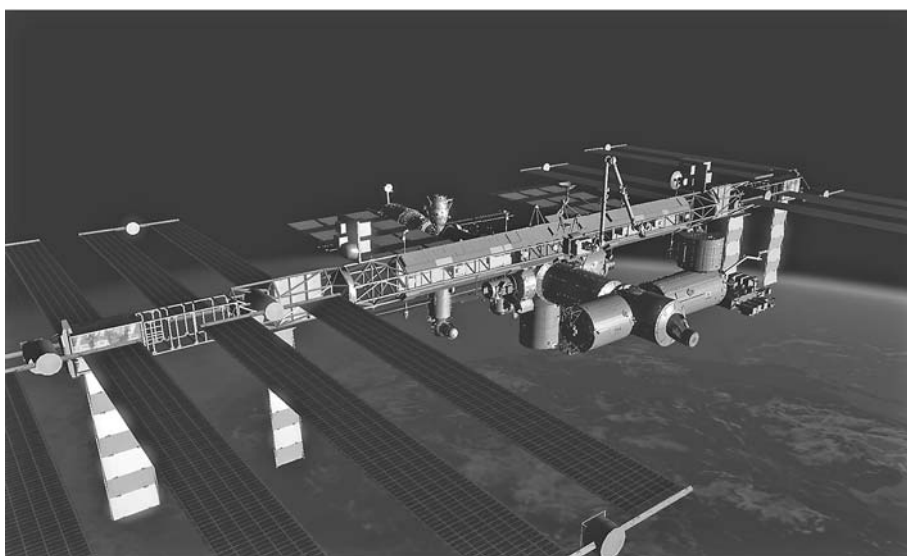
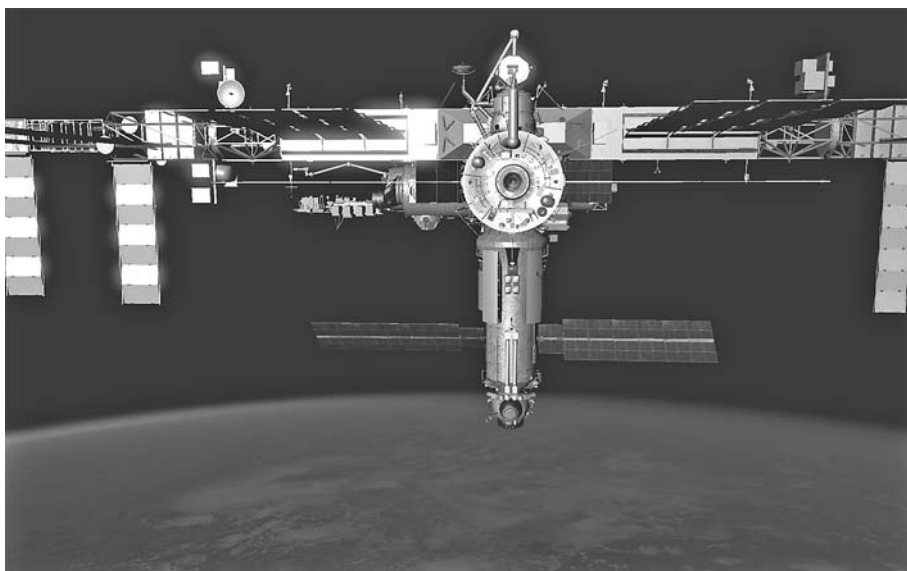


Рис. 5. Иллюстрация примеров синтезированных изображений

rgba-цветом, в каналы которого записаны соответствующие вычисленные значения сумм и максимальной яркости.

Заключение

В статье исследован вопрос визуализации виртуальных космических сцен, имеющих огромный динамический диапазон, и предложена новая технология, позволяющая синтезировать изображения в расширенном диапазоне с использованием параллельных вычислений на графическом процессоре. Подробно рассмотрены вопросы расчета средней и максимальной яркости, моделирования эффекта заплывания и приведения изображения сцены к стандартному диапазону с помощью модифицированной версии глобального тонального оператора Рейнхарда. По сравнению с существующими решениями предложен новый подход для вычисле-

ния средней яркости, имеющий ряд преимуществ, а также разработан и реализован эффективный алгоритм вычисления максимальной и средней яркости кадра с использованием геометрического шейдера. Предложенные методы и подходы были реализованы в программном комплексе визуализации реального времени для космических тренажеров [8] и протестированы на виртуальной сцене, содержащей модели Международной космической станции (МКС) и Земли. Смоделированы режимы наблюдения станции и Земли на освещенной стороне, в тени с использованием фары, а также переходные режимы для различных средств наблюдения — телекамер, оптического прибора "Визир Специальный Космонавта" и невооруженного глаза. Экспериментальные исследования показали адекватность предложенной технологии для решения поставленных задач и соответствие полученного результата реальным наблюдениям. Иллюстрация примеров синтезированных изображений приведена на рис. 5.

Исследования были выполнены при поддержке РФФИ (грант № 12-07-00256).

1. Eilertsen G., Wanat R., Mantiuk R. K., Unger J. Evaluation of Tone Mapping Operators for HDR-Video // Pacific Graphics 2013. 2013. V. 32. N. 7.
2. Reinhard E., Stark M., Shirley P., Ferwerda J. Photographic tone reproduction for digital images // Proceedings of SIGGRAPH '02. New York.: ACM. 2002. P. 267–276.
3. Kiser C., Reinhard E., Tocci M., Tocci N. Real time automated tone mapping system for HDR video // IEEE International Conference on Image Processing. Orlando.: IEEE. 2012. P. 2749–2752.
4. Торгашев М. А., Тимохин П. Ю. Технология синтеза стереороликов высокого разрешения в системе трехмерной визуализации реального времени // Программные продукты и системы. 2012. № 3. С. 74–80.
5. Reinhard E., Ward G., Pattanaik S., Debevec P. High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting. San Francisco.: Morgan Kaufmann, 2005.
6. Meylan L., Süsstrunk S. The influence of luminance on local tone mapping // Proc. IS & T/SID 13th Color Imaging Conference. Scottsdale: IS & T. 2005. P. 276–282.
7. Josth R., Antikainen J., Havel J., Herout A., Zemic P., Hauta-Kasari M. Real-time PCA calculation for spectral imaging (using SIMD and GP-GPU) // Journal of Real-Time Image Processing. 2012. V. 10. N. 2. P. 95–103.
8. Михайлюк М. В., Торгашев М. А. Система визуализации "GLView" для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. 2013. № 4. С. 60–72.

P. Yu. Timokhin, Research Associate, e-mail: webpismo@yahoo.de, M. A. Torgashev, Head of Sector

Real-Time Visualization of Space Scenes in High Dynamic Range

The article considers the problem of real-time visualization of space scenes. In the absence of atmosphere in space, light has a very tough character and images, observed by an astronaut on orbit, have a huge dynamic range. One of the most effective approaches to solving the problem of adequate environment simulation is synthesis of virtual scene in the high dynamic range, followed by tonal mapping to a range of display. The study proposes a new technology to solve this problem in real-time using parallel computing on the GPU. There are considered in detail the questions of calculating the average and the maximum frame's luminance, simulating the effect of "bloom" and mapping images to the low dynamic range using a modified version of the Reinhard's global tone mapping operator. This paper presents a new approach to calculating the average luminance which has a number of advantages over existing developments, as well as efficient algorithm for computing global luminance parameters of the frame by means of geometry shader.

Keywords: visualization, high dynamic range, tonal mapping operator, space training systems, parallel computing

References

1. Eilertsen G., Wanat R., Mantiuk R. K., Unger J. Evaluation of Tone Mapping Operators for HDR-Video. *Pacific Graphics 2013*. 2013. V. 32. N. 7.
2. Reinhard E., Stark M., Shirley P., Ferwerda J. Photographic tone reproduction for digital images. *Proceedings of SIGGRAPH '02*. New York.: ACM. 2002. P. 267–276.
3. Kiser C., Reinhard E., Tocci M., Tocci N. Real time automated tone mapping system for HDR video. *IEEE International Conference on Image Processing*. Orlando: IEEE. 2012. P. 2749–2752.
4. Torgashev M. A., Timokhin P. Yu. Tekhnologija sinteza stereorolikov vysokogo razreshenija v sisteme trekhmernoij vizualizacii real'nogo vremeni. *Programmnye produkty i sistemy*. 2012. N. 3. P. 74–80.
5. Reinhard E., Ward G., Pattanaik S., Debevec P. *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. San Francisco.: Morgan Kaufmann, 2005.
6. Meylan L., Süsstrunk S. The influence of luminance on local tone mapping. *Proc. IS & T/SID 13th Color Imaging Conference*. Scottsdale: IS & T. 2005. P. 276–282.
7. Josth R., Antikainen J., Havel J., Herout A., Zemic P., Hauta-Kasari M. Real-time PCA calculation for spectral imaging (using SIMD and GP-GPU). *Journal of Real-Time Image Processing*. 2012. V. 10. N. 2. P. 95–103.
8. Mikhailjuk M. V., Torgashev M. A. Sistema vizualizacii "GLView" dlja imitacionno-trenazhernykh kompleksov podgotovki kosmonavtov. *Pilotiruemye polety v kosmos*. 2013. N. 4. P. 60–72.

УДК 004.09

В. К. Игнатович¹, д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., e-mail: v.ignatovi@gmail.com,

И. М. Саламатин¹, канд. физ.-мат. наук, ст. инженер, e-mail: salam@nf.jinr.ru,

К. М. Саламатин², аспирант, e-mail: del@xaker.ru,

А. Е. Сеннер², канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: del@tmpk.ru

¹ Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка,

² Международный университет природы, общества, человека "Дубна"

Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов с использованием сетевых технологий

Предлагаются унифицированные средства описания методики эксперимента и управления последовательностью операций, не требующие редактирования компонентов системы при изменении методики эксперимента.

Ключевые слова: автоматизация экспериментов, распределенные системы, методика эксперимента, динамическое связывание, сроки разработки, повторное использование

Введение

Методика физического эксперимента непрерывно усложняется, одновременно растет сложность программных систем автоматизации экспериментов (САЭ). В настоящее время экспериментальные установки обслуживаются многомашинными комплексами и программным обеспечением, распределенным в сети ЭВМ. Усложнение экспериментальных систем приводит к росту затрат на их разработку и модификацию. При этом для исследовательских организаций чрезвычайно актуальной проблемой становятся сроки разработки. Соответственно, актуальными оказываются и работы, направленные на развитие методики, обеспечивающей сокращение сроков разработки программного обеспечения (ПО) САЭ, повышение его гибкости и надежности.

В работе [1] указано, что на модификацию ПО САЭ в лучшем случае тратится около шести месяцев работы коллектива из нескольких программистов. Известный идеолог фирмы Code Gear Дэвид Интерсаймон отмечает, что причины длительных сроков разработки связаны с отсутствием адекватной стратегии повторного использования уже имеющихся программ (*code reuse*) [2]. В связи с этим в настоящей работе поставлена задача: разработать методы, необходимые для построения унифицированной программы управления экспериментом, которая при изменении условий позволяет управлять экспериментами с помощью уже существующих программных блоков без их изменения. Для решения

этой задачи потребовалось также ввести способ представления методики эксперимента с помощью универсальной подсистемы,

Специфика ПО САЭ для экспериментальных исследований в области спектрометрии нейтронов

Системы автоматизации экспериментов в области спектрометрии нейтронов разрабатываются для серии исследовательских работ. Список условий работы, последовательность их изменения и способ регистрации и обработки экспериментальных данных в определенных условиях составляют методику конкретного эксперимента. Продолжительность эксперимента может составлять недели непрерывной работы, а радиационные условия исключают возможность постоянного присутствия экспериментатора рядом с установкой. Поэтому используются программные САЭ, которые работают в автоматическом режиме, и для этого до начала работы тем или иным способом должна быть определена методика эксперимента — состав и последовательность действий системы.

После завершения анализа данных эксперимента, как правило, возникает план новых исследований, которые требуют изменения методики экспериментов, т. е. состава аппаратного и программного обеспечения (ПО). В результате этого изменяется программа управления составом и последовательностью операций в эксперименте — программа управления экспериментом, что является одной из причин воз-

можных потерь времени. Помимо этого, включение в состав ОАЭ новых программных компонентов приводит к необходимости изменить схему взаимодействия компонентов. Взаимодействие компонентов заключается в использовании одними компонентами функций других, и для этого вводятся специальные программные средства связывания компонентов. Неадекватный выбор средств связывания компонентов может затруднить решение задачи унификации средств управления экспериментом в условиях изменения его методики. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Связывание компонентов в ПО САЭ

При *статическом* связывании необходимая для связывания информация (например, сетевые адреса взаимодействующих компонентов и информация об интерфейсах) тем или иным способом фиксируется до начала работы САЭ. Статическое связывание обеспечивает наибольшую скорость выполнения взаимодействия, и связь между компонентами системы является жесткой. В этом случае сбой одного из компонентов в процессе эксплуатации САЭ с большой вероятностью приводит к потере работоспособности всей системы, а небольшие изменения методики эксперимента могут потребовать модификации нескольких компонентов. Статическое связывание существенно затрудняет использование компонентов без их изменения в других САЭ.

При *динамическом* связывании необходимая информация для обеспечения взаимодействия компонентов вырабатывается в процессе работы, поэтому этот вариант имеет преимущество при построении унифицированного ПО САЭ для систем с часто изменяемым составом выполняемых функций.

В работах [3, 4] выполнен анализ популярных сетевых технологий построения распределенных систем и предложены варианты их использования при разработке программы-посредника DiCME (*Distributed Components Messaging Environment*) для динамического связывания компонентов. Посредник DiCME обеспечивает базовую технологическую поддержку работы ПО САЭ и предоставляет следующие основные возможности:

- автоматический поиск и связывание компонентов;
- асинхронный механизм удаленного выполнения процедур;
- передачу информации нескольким процессам одновременно;
- обработку всех взаимодействий компонентов одними и теми же средствами;
- независимость интерфейса доступа к процедурам компонента от сетевого адреса ЭВМ.

Возможность унификации компонентов

Если методика эксперимента требует применения дополнительного оборудования, не преду-

смотренного заранее, то возникает необходимость изменить состав используемых компонентов и редактировать последовательность выполнения операций в эксперименте.

Традиционных способов управления экспериментом два:

- определение программы управления в виде фиксированной группы процедур на языке программирования, где каждая процедура реализует определенную функцию эксперимента, а значения параметров задаются в диалоговом окне или данными из файла;
- использование интерпретатора и программы управления экспериментом (скрипта) в виде списка вызовов внешних процедур и значений параметров.

В обоих способах, по сути, в программу управления последовательностью операций в эксперименте включается описание методики в виде списка вызовов процедур, и в результате возникает жесткая связанность компонентов. Практика показывает, что при написании скриптов процент ошибок может достигать 70 %, и в работе [5] отмечается, что настройка ПО САЭ с использованием скриптов и конфигурационных файлов может потребовать до двух дней. Существенное упрощение такой настройки предложено в работах [6, 7], однако в этих работах не решается общая для скриптов проблема — проблема связанности компонентов.

Для решения проблемы унификации компонентов при изменении методики эксперимента выполнен анализ функционального состава и особенностей работы компонентов в ПО САЭ. На основании этого анализа выявлены следующие особенности [8]:

- динамическое связывание компонентов для удаленного вызова процедур необходимо только при выполнении основных функций: управление условиями регистрации данных, регистрация, преобразование и архивирование экспериментальных данных;
- удаленный вызов процедур должен содержать: 1) обязательный сигнал завершения работы, адресуемый вызывающей программе (программе управления экспериментом или интерфейсу пользователя) и 2) детальную информацию (список зарегистрированных данных, описание состояния управляемого объекта, диагностическое сообщение и др.), адресуемую вспомогательным функциям;
- реализация вспомогательных функций (визуализация данных, их предварительная обработка и др.) требует специального способа связывания компонентов, учитывающего спонтанный характер возникновения запросов на такие операции и независимость основных функций (в штатных условиях) от результатов выполнения вспомогательных операций.

С учетом этих особенностей в настоящей работе предложено исключить из описания методики вызовы процедур и отделить программу управления экспериментом от средств описания методики эксперимента. Предложенный метод управления экспериментом заключается в следующем:

- программа управления экспериментом по умолчанию предполагает, что после формирования условий идет регистрация данных, и она диктует условия регистрации, используя список состояний установки из файла задания на эксперимент;
- конкретизация этих процессов (например, состава используемых компонентов) выполняется динамически с использованием файла с описанием условий регистрации данных, создаваемого подсистемой описания методики эксперимента.

Подсистема описания методики эксперимента

Для описания методики и составления задания на эксперимент требуется информация об устройствах и работающих с ними компонентах (паспорта устройств). Детекторная система и контроллер ввода данных в ЭВМ для спектрометра фиксированы. Группа компонентов, выполняющих ввод данных, их преобразование и архивирование, обычно объединяется в подсистему (DAQ), и вызов этой подсистемы может выполняться по умолчанию после формирования условий регистрации данных. Подсистема описания методики эксперимента включает базу данных (БД) и две диалоговые программы:

- программу составления паспортов компонентов, работающих с устройствами, и программы управления условиями регистрации данных, создаваемые программистами;
- программу составления задания PSJ (*Preparation of Single Job*), используемую экспериментаторами.

Программа составления паспортов устройств создает и заносит в БД документацию — описания устройств в формате JSON. Документация содержит: название контроллера и список подключенных к нему устройств; тип компонента, работающего с контроллером, его уникальный идентификатор (GUID), используемый для адресации компонента, а также описания параметров. Состав параметров (прикладной протокол) определяется разрабатчиком компонента.

Программа составления задания использует список доступных устройств (и компонентов) из БД. Из этого списка пользователь в диалоге выбирает

нужные в данном эксперименте компоненты и составляет список устройств, которые в процессе эксперимента будут определять условия регистрации данных. Для каждого устройства из этого списка можно задать список последовательно используемых значений управляемого параметра.

Результатом этой работы является PSJ — файл с табличным описанием конечного автомата, реализующего нужные в эксперименте состояния аппаратной системы. В каждом состоянии выполняется экспозиция данных. Структура файла задания на эксперимент показана на рис. 1.

Отличие данного метода от используемых в других системах в том, что программа PSJ составляет список условий регистрации данных вместо описания действий в виде списка вызовов процедур в скрипте или указания варианта жестко запрограммированной процедуры.

При описании методики эксперимента используется только терминология проблемной области — названия узлов спектрометра, угловые положения и др. Программа PSJ автоматически пронумеровывает идентификаторы (GUID) компонентов и представляет описание в формате JSON. Вид окна программы составления задания показан на рис. 2.

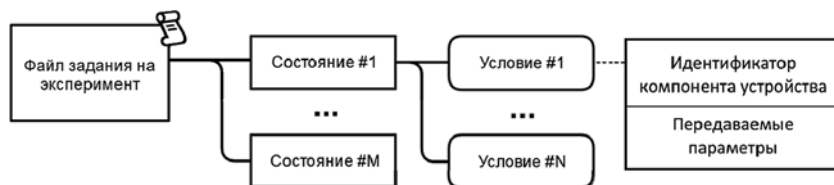


Рис. 1. Структура файла задания на эксперимент

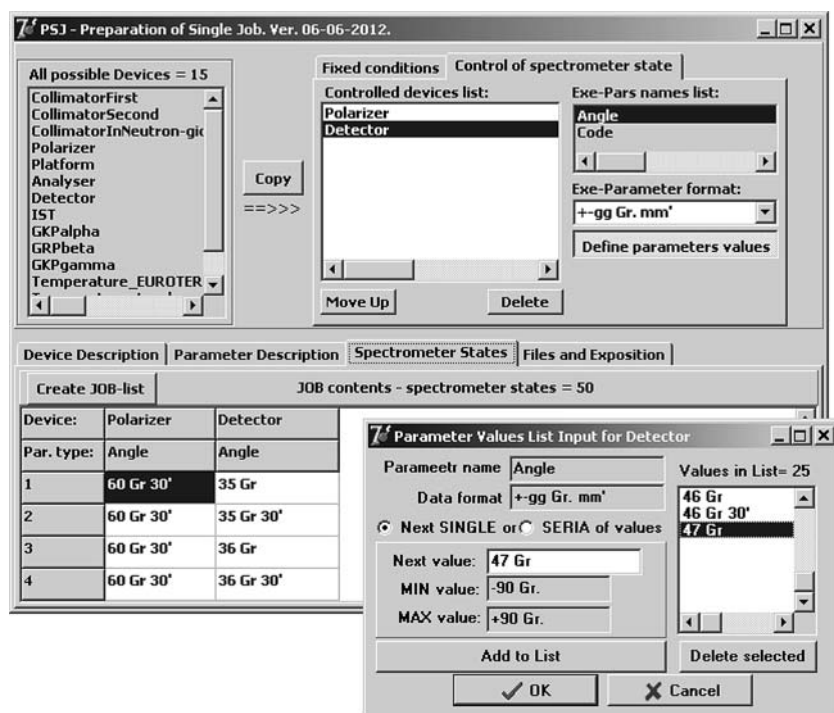


Рис. 2. Окно программы составления задания на эксперимент

Управление экспериментом с использованием посредника DiCME и файла задания на эксперимент

На рис. 3 показана схема взаимодействия программы управления экспериментом (ПУЭ) и посредника DiCME при выполнении основных операций ПО САЭ. На вход программы управления экспериментом поступает файл задания. ПУЭ выбирает описание очередного состояния системы (список условий регистрации данных) и передает описание каждого условия посреднику DiCME. Описание условия несет информацию о компоненте (GUID), достаточную для его поиска и связывания с ним всегда одного и того же компонента — программы управления экспериментом, и список параметров. DiCME находит нужный компонент и передает ему сообщение с описанием условия, содержащее список параметров. Программа управления экспериментом выполняет функции диспетчеризации используемых компонентов, а выбор и вызов процедур, реализующих нужные условия регистрации данных, выполняется в компонентах, управляющих оборудованием, на основании интерпретации переданных им описаний условий. Например, для управления положением поляризатора описание условия в формате JSON имеет вид:

```
{device:"polarizer", parameter:"angle", value:"30 grad"}
```

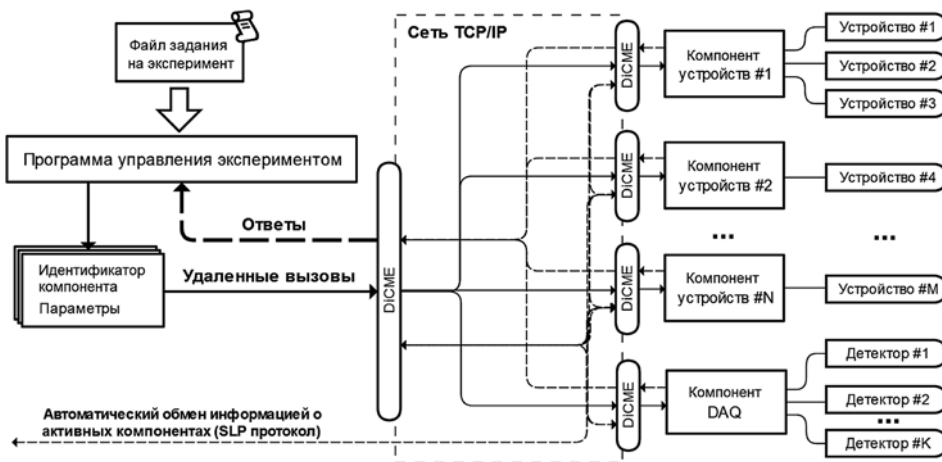


Рис. 3. Схема взаимодействия программы управления экспериментом и компонента DiCME при реализации основных задач ПО САЭ

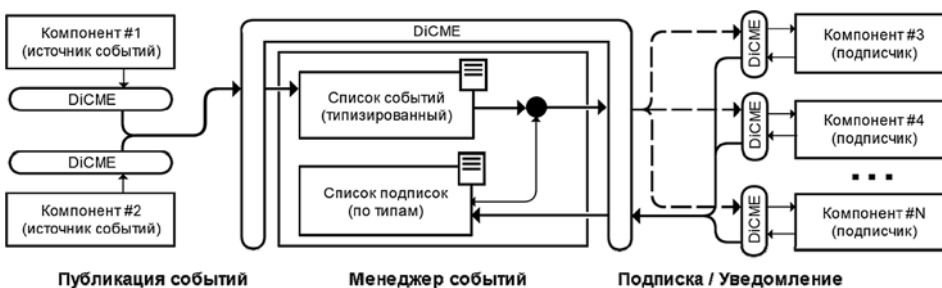


Рис. 4. Схема работы Менеджера событий и посредника DiCME при обслуживании вспомогательных операций

Каждый компонент, которому ПУЭ передала сообщение, должен вернуть ПУЭ сигнал (DONE/ERROR) завершения работы. После получения сигналов от всех устройств, перечисленных в описании нужного состояния САЭ, ПУЭ включает регистрацию данных подсистемой DAQ. Сигнал завершения экспозиции данных разрешает ПУЭ перейти к обработке описания следующего состояния в файле задания.

В используемом методе динамического связывания [4], в отличие от технологии CORBA и др., устранена необходимость подготовительного диалога между компонентами для настройки удаленного выполнения процедуры. Данный метод связывания не ограничивает развитие методики эксперимента, и ее изменения не затрагивают ПУЭ и средства межкомпонентного взаимодействия DiCME, так как программа управления и DiCME прозрачны для списка параметров.

Наиболее существенные особенности, влияющие на способ выполнения вспомогательных функций, следующие:

- спонтанный характер возникновения информации о событиях и возможность отсрочить ее обработку;
- необходимость передавать информацию нескольким процессам, состав которых, вообще говоря, источнику информации не известен и может изменяться в процессе работы ПО САЭ по инициативе пользователя САЭ.

Для связывания вспомогательных компонентов используется вариант алгоритма "подписки", при котором компонент-потребитель однократно декларирует интерес к информации определенного типа, после чего специальный компонент (Менеджер событий в составе DiCME) обслуживает всех "подписавшихся" потребителей при появлении этой информации.

На рис. 4 показана схема работы посредника DiCME при обслуживании вспомогательных операций ПО САЭ.

В итоге реализация вспомогательных операций через DiCME предоставляет возможность пользователю динамически компоновать систему с нужными вспомогательными функциями просто путем запуска на любой ЭВМ локальной сети нужного компонента.

Программа управления экспериментом

Метод построения унифицированной программы управления экспериментом и сценарий выполнения задания на эксперимент подробно описаны выше. Практика прецизионных экспериментов требует некоторых добавлений. На рис. 5 представлена схема работы программы управления в прецизионных экспериментах. На схеме показано, что многочасовая экспозиция в каждом состоянии экспериментальной установки (цикл по состояниям) расчленяется на несколько (обычно одинаковых) более коротких измерений (цикл по проходам), результаты которых могут быть просуммированы. Благодаря этому, сравнивая при экспресс-анализе данные в отдельных файлах, полученных при одинаковых условиях, можно обнаружить возможный дрейф фона, эффективности детекторов и другие эффекты и отфильтровать некорректные данные.

Данная программа управления экспериментом протоколирует работу: запоминает последнюю команду оператора, номер последнего завершенного состояния системы (выполненной строки задания) и некоторые другие данные и использует их для автоматического формирования названий файлов. Благодаря этому при сбоях возможно перезапускать систему — она продолжит работу с последнего незавершенного состояния. Локальное меню программы предоставляет ряд отладочных режимов работы.

Заключение

Подсистема описания методики эксперимента формирует информационную базу для алгоритмов позднего связывания компонентов, конкретизации функционального состава процессов, выполняемых программой управления экспериментом, и для автоматического объединения компонентов в ПО САЭ. Данная подсистема существенно сокращает время настройки ПО для нового эксперимента, упрощает работу экспериментатора и является ключевым элементом, благодаря которому стало возможным в условиях изменения методики эксперимента передать функции сопровождения ПО САЭ экспериментаторам.

Модель программы управления экспериментом, выполняющей два абстрактных процесса (формирование условий регистрации и процесс регистрации данных), обеспечивает использование ее реализации с различными заданиями и в разных системах.

Предложенное ПО САЭ является проблемно-ориентированным распределенным пакетом прикладных программ, включающим компоненты управления пакетом (средства обеспечения взаимо-



Рис. 5. Схема работы программы управления экспериментом

действия компонентов и программу управления экспериментом) и унифицированные прикладные компоненты. Подсистема описания методики эксперимента предоставляет язык управления пакетом. Предложенная структура может быть использована и в других областях, например для автоматизации технологических процессов.

Изложенный здесь подход применен при разработке ПО САЭ для нескольких спектрометров, которые используются в экспериментах на источниках нейтронов ИБР-2 и ИРЕН в ОИЯИ [9—11].

Список литературы

1. Levis P., Cooper G., Trouw F. et al. Data Acquisition and Instrument Control at the Lujan Center: An Update // Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Preliminary Agendas NOBUGS34, 2010.
2. Дэрил Тафт. Что нам готовит год 2027-й // PC Week/RE № 8 (614). 11—17 марта 2008.
3. Саламатин К. М. Выбор технологии построения компонентной системы для автоматизации экспериментов в области спектроскопии нейтронов // ОИЯИ P13-2013-72, Дубна, 2013. 20 с.
4. Саламатин К. М. DiCME — Распределенная среда взаимодействия компонентов системы автоматизации экспериментов для физики низких энергий // Программная инженерия. 2014. № 3. С. 3—11.
5. Konnecke M., Hauser N., Franceschini F. et al. Treepath Based Instrument Control // Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-6, 2008. N. 132.
6. Nakatani T., Inamura Y., Ito T. et al. Present status of the computing environment for the experimental instruments in J-PARC/MLF // Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Preliminary Agendas NOBUGS40. 2010.
7. Clarke M., Nakatani T., Inamura Y. et al. Making life easier for scientists: developing an Experiment Scheduler for the MLF // Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Posters NOBUGS20. 2010.
8. Саламатин И. М., Саламатин К. М. Разработка компонентной САЭ для физики низких энергий на основе использования сетевых технологий // ОИЯИ P13-2013-74, Дубна. 2013, 24 с.
9. Tsulaia M. I., Salamatin I. M., Sirofin A. P. et al. The Kolkhida Setup Upgrade // Proc. of Internat. Seminar "ISINN-21" (Alushta, Ukraine, May 20—25, 2013), Dubna E3-2013-40. Dubna: JINR, 2013. 77 p.
10. Kuznetsov V. L., Kuznetsova E. V., Sedyshev P. V. Investigation of Possibilities for the Measurement of Parity Violation in Neutron Diffraction at the IBR-2M Reactor // Proc. of Internat. Seminar "ISINN-20" (Dubna, May 27—29, 2012), Dubna E3-2013-22. Dubna: JINR. 2013. P. 66—68.
11. Shvetsov V. N., Alpatov S. V., Astachova N. V. et al. 8-input system for neutron-nuclear research by the method of time-of-flight // Instruments and Experimental Techniques. 2012. V. 55, N. 5. P. 561—568.

V. K. Ignatovich¹, Leading Researcher, e-mail: v.ignatovi@gmail.com,

I. M. Salamatin¹, Senior engineer, e-mail: salam@nf.jinr.ru,

K. M. Salamatin², Graduate Student, e-mail: del@xaker.ru,

A. E. Senner², Assistant Professor, e-mail: del@tmpk.ru

¹ Joint Institute for Nuclear Research, Frank Laboratory of Neutron Physics,

² International University "Dubna"

Automation of Experiments in the Field of Neutron Spectrometry Using Network Technologies

A new structure of a distributed software for experiments automation system (EAS) is proposed. The EAS includes: 1) a subsystem describing the experimental procedure (SDEP); 2) the experiment control program (ECP); 3) distributed components messaging environment (DiCME); 4) components for sample environment at the instrument control; 5) Data Acquisition (DAQ) subsystem; 6) components for auxiliary operations. SDEP contains data base (DB) with documentation of controllers, devices connected to them and program components, and two dialog programs: 1) a program producing documentation of components; 2) program of preparation of experiment description as a list of EAS states. ECP program receives from SDEP the list of EAS states, selects the description of the next state of the system (list of the data registration conditions) and sends a description of each condition to the intermediary DiCME. In each state of EAS data registration is completed. Mediator DiCME, developed using network technology, automatically searches and dynamically binds components. It provides an interface to component's procedures independent on the computer network address.

As a result, the components implemented in different experiments and in different EAS can be used without modification. The presented approach was applied in the development of EAS software for several instruments at neutron sources IBR-2 and IRENE in JINR. It can be also applied in other areas, for example, for technological process automation.

Keywords: experiment automation, dynamic coupling, asynchronous communications, heterogeneous distributed systems, programming technology

References

1. Levis P., Cooper G., Trouw et F. al. Data Acquisition and Instrument Control at the Lujan Center: An Update. *Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Preliminary Agendas NOBUG34*. 2010.
2. De'rril Taft. Chto nam gotovit god 2027-i'. *PC Week/RE N. 8 (614)*. 11–17 marta. 2008.
3. Salamatin K. M. Vy'bor tekhnologii postroeniia komponentnoi' sistemy' dlia avtomatizatsii e'ksperimentov v oblasti spektroskopii nei'tronov. *OIIAI R13-2013-72, Dubna*, 2013. 20 p.
4. Salamatin K. M. DiCME — Raspredelennaia sreda vzaimodei'stviia komponentov sistemy' avtomatizatsii e'ksperimentov dlia fiziki nizkikh e'nergii'. *Programmnaia inzheneriia*. 2014. N. 3. P. 3–11.
5. Konnecke M., Hauser N., Franceschini F. et al. Treepath Based Instrument Control. *Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-6*. 2008. N. 132.
6. Nakatani T., Inamura Y., Ito T. et al. Present status of the computing environment for the experimental instruments in J-PARC/MLF. *Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Preliminary Agendas NOBUGS40*, 2010.
7. Clarke M., Nakatani T., Inamura Y. et al. Making life easier for scientists: developing an Experiment Scheduler for the MLF. *Proc. of Internat. Conf. NOBUGS-8, Posters NOBUGS20*. 2010.
8. Salamatin I. M., Salamatin K. M. Razrabotka komponentnoi' SAE' dlia fiziki nizkikh e'nergii' na osnove ispol'zovaniia setevy'kh tekhnologii'. *OIIAI R13-2013-74, Dubna*. 2013. 24 p.
9. Tsulaia M. I., Salamatin I. M., Sirotn A. P. et al. The Kolkhida Setup Upgrade. *Proc. of Internat. Seminar "ISINN-21" (Alushta, Ukraine, May 20–25, 2013), Dubna E3-2013-40*. Dubna: JINR, 2013. 77 p.
10. Kuznetsov V. L., Kuznetsova E. V., Sedyshev P. V. Investigation of Possibilities for the Measurement of Parity Violation in Neutron Diffraction at the IBR-2M Reactor. *Proc. of Internat. Seminar "ISINN-20" (Dubna, May 27–29, 2012), Dubna E3-2013-22*. Dubna: JINR, 2013. P. 66–68.
11. Shvetcov V. N., Alpatov S. V., Astachova N. V. et al. 8-input system for neutron-nuclear research by the method of time-of-flight. *Instruments and Experimental Techniques*. 2012. V. 55, N. 5. P. 561–568.

А. С. Боровский, канд. техн. наук, доц., зам директора, e-mail: borovski@mail.ru,
Институт управления рисками и комплексной безопасности —
Оренбургский государственный аграрный университет

Метод определения оптимального уровня возможностей средств инженерно-технической защиты на объекте в задачах проектирования систем физической защиты

Предлагается метод оптимального размещения средств инженерно-технической защиты на структурно-логической модели объекта и определения оптимального уровня их возможностей (обнаружения и задержки нарушителя). За качество размещения отвечает адаптированный к данной предметной области стандартный генетический алгоритм.

Ключевые слова: система физической защиты, стандартный генетический алгоритм, нечеткие переменные

Введение

Проектирование сложных технических систем, таких как системы физической защиты (СФЗ) объектов, — это сложный многоуровневый процесс, заключающийся в построении оптимальной системы, способной максимально использовать свои ресурсы.

В настоящее время не существует четко определенной, универсальной методики проектирования СФЗ объектов, дающей оптимальный результат.

Необходимо развивать относящуюся к СФЗ категорию систем автоматизации проектирования. Однако до сих пор не создавался инструмент, который бы проектировал СФЗ на всех этапах ее создания. Учитывая сложность решаемых задач, создание СФЗ должно базироваться на комплексном научном подходе [1—9]. Такой подход подразумевает проектирование СФЗ в два этапа: концептуальное и рабочее проектирование.

На стадии концептуального проектирования с использованием методов системного анализа и моделирования осуществляются обоснование и выбор оптимальной структуры и состава СФЗ (комплекса инженерно-технических средств охраны (ИТСО)) по выбранному критерию. Именно от успеха данного этапа зависит оптимальность будущих проектно-технических решений.

Такой подход будет содержать меньше ошибок. В настоящее время работы направлены в сторону моделирования уже существующей СФЗ для проверки ее эффективности с использованием специальных программных комплексов [3].

Трудность исследования вопросов обеспечения безопасности объектов усложняется неопределенностью функционирования СФЗ. При проектировании СФЗ проектировщик в основном оперирует экспертными знаниями и может лишь предвидеть, прогнозировать те или иные показатели. Подобные прогнозы представляют собой некоторые лингвистические

формы, которыми можно оперировать, используя аппарат нечетких величин.

Следовательно, необходимо в системы проектирования вводить интеллектуальные составляющие, позволяющие моделировать рассуждения экспертов.

Начинать проектирование СФЗ следует с разработанной на этапе концептуального проектирования модели объекта, которую целесообразно разбить на две части: структурно-логическую, представляющую структуру объекта и взаимосвязи между его элементами, и функциональную, так как в модели объекта необходимо учесть данные о производственно-технологическом процессе объекта.

Такое разделение на верхнем уровне обработки информации позволит абстрагироваться от физической природы источника события и оперировать только логическими элементами.

В структурно-логической части модели объекта используются понятия: "зона", "рубеж", "точка контроля". *Зона* — часть территории объекта, представляющая собой ограниченное замкнутое пространство, имеющее физические границы. *Рубеж* — физический барьер (часть физической границы зоны — ИТСО), затрудняющий проход или проникновение из одной зоны в другую. Рубеж связывает две зоны.

Точка контроля — это логическое понятие, влияющее на защищенность одного критического элемента (КЭ) — наиболее уязвимо места объекта или системы охраны объекта. Физически точка контроля представляет собой один или несколько элементов ИТСО, т. е. конкретное физическое устройство (например, сигнализационное устройство (датчик), исполнительное устройство (электромагнитный замок) либо устройство, осуществляющее контроль доступа. Определим типы точек контроля, разделив их по выполняемым функциям [10]:

- точка обнаружения (ТО) — это логическая часть модели объекта, которой соответствует один или несколько элементов ИТСО, описывающие конкретные устройства обнаружения (например,

датчики движения сейсмический, инфракрасный и т. п.) как совокупность программно-технических средств, с помощью которых выполняется функция обнаружения нарушителя при несанкционированном проникновении в зону защиты;

- точка доступа (ТД) — это логическая часть модели объекта, которой соответствует один или несколько элементов ИТСО, описывающие конкретные устройства контроля доступа (например, турникет или шлюзовая камера) как совокупность программно-технических средств, с помощью которых выполняется функция контроля прохода через зону защиты путем идентификации личности;
- точка видеонаблюдения (ТВ) — это логическая часть модели объекта, которой соответствует один или несколько элементов ИТСО, описывающие конкретные устройства видеонаблюдения (например, камеры, мониторы, оборудование для хранения видеозаписей и т. п.) как совокупность программно-технических средств, с помощью которых выполняется функция визуальной оценки обстановки в зоне защиты;
- точка задержки (ТЗ) — это логическая часть модели объекта, которой соответствует один или несколько элементов ИТСО, описывающие конкретные устройства задержки (например, различного рода физические барьеры, усиленные двери, в том числе электронные замки, использующие карту-ключ или управляемые дистанционно с пульта охраны, и т. п.) как совокупность программно-технических средств, с помощью которых выполняется функция предотвращения несанкционированного прохода через зону защиты.

Итого можно выделить четыре типа точек контроля, причем для защиты одной зоны может потребоваться несколько точек контроля.

Каждая точка контроля обеспечивает зону или рубеж некоторыми параметрами, определяющими уровень противодействия нарушителям. В данной задаче используем параметр — меру структурной защищенности [11], рассчитываемую как

$$P_{\text{стр}} = P_{\text{обн}} P_{\text{зад}},$$

где $P_{\text{обн}}$ — вероятность обнаружения нарушителя; $P_{\text{зад}}$ — вероятность задержки нарушителя. Таким образом, каждую точку контроля на объекте будем характеризовать двумя параметрами: вероятностью обнаружения и вероятностью задержки, которые определяют уровень возможностей средств инженерно-технической защиты.

По структурно-логической модели объекта путь определяется как последовательность рубежей и зон от точки проникновения на объект до выбранного КЭ. Если объединить все точки контроля, расположенные на одном пути, в один набор, то будет определен текущий уровень защиты КЭ (при выборе нарушителем данного пути).

Точки контроля могут располагаться в любой зоне и на любом рубеже объекта, но существуют ограничения на возможность их установки на конкретном участке, что определяется экспертами при анализе объекта. Кроме того, эксперты могут задать условия их обязательного присутствия. Свяжем эти условия с понятием "тип зоны контроля". Например, зона доступа — как часть территории объекта, представляющая собой ограниченное замкнутое пространство, имеющая физические границы и защищенная совокупностью точек контроля, — обязательно должна включать в себя одну ТД (даже если все пути в зону содержат достаточное число ТД). Аналогично в зоне видеонаблюдения — как части территории объекта, которая представляет собой ограниченное, необязательно замкнутое пространство, с одной и более физической границей, — должна быть минимум одна ТВ. Некоторые участки объекта будут объединять несколько зон контроля, например, территория защитного периметра является и "зоной задержки", и "зоной видеонаблюдения".

Отсюда возникает проблема (задача), решение которой позволит выбрать оптимальные места расположения и уровень возможностей точек контроля и, следовательно, структуру СФЗ объекта. Новизна работы заключается в использовании в модели логических точек контроля, которые не связаны с конкретными физическими устройствами ИТСО, что позволяет существенно упростить алгоритм поиска оптимального решения. Данная задача является логическим продолжением результатов предыдущих работ автора [11].

Постановка задачи. Требуется определить оптимальное расположение точек контроля на территории объекта и уровень их возможностей.

Данная задача может быть решена с помощью стандартного генетического алгоритма [12].

Алгоритм оптимального размещения точек контроля на графе объекта и определения уровня их возможностей

Одной из подзадач определения оптимального расположения точек контроля является поиск всех возможных путей нарушителя, для чего необходимо проанализировать все пути в неориентированном графе. В качестве основы алгоритма поиска путей на графе был использован алгоритм поиска в глубину — один из методов обхода графа.

Замечание. В связи с особенностями решаемой задачи в описываемый алгоритм внесена следующая поправка: пути, проходящие через несколько точек проникновения, не рассматриваются. Если нарушитель прошел отрезок пути от одной точки проникновения до второй, то это аналогично тому, что нарушитель начал свой путь со второй точки проникновения, и достаточно оценить защищенность только этой части пути (от второй точки до КЭ). Так как все

пути, начинающиеся со второй точки проникновения, обязательно будут проанализированы алгоритмом, путь от первой точки, включающий в себя вторую, не требуется проверять. Эксперименты показали, что число путей даже в небольшом графе составляет несколько сотен. Поправка значительно сокращает число проверяемых путей и ускоряет поиск решения.

Поэтому при решении данной задачи в алгоритм поиска путей на графе была внесена следующая модификация: пути, проходящие через несколько точек проникновения, не сохраняются в базу данных. Модифицированный алгоритм содержит процедуру, прерывающую анализ при заходе пути нарушителя в точку проникновения. Блок-схема алгоритма отображена на рис. 1.

Экспертами задаются следующие исходные данные.

1. Граф объекта, в котором кроме зон и рубежей указываются КЭ и возможные точки проникновения.

2. Требуемые вероятности обнаружения ($P_{обн}$) и задержки ($P_{зад}$) нарушителя для каждого КЭ, например, $P_{обн} = 0,9$; $P_{зад} = 0,85$.

Обозначим эти данные следующими переменными:

- для 1-го КЭ — $(Y_1^0, Y_1^3) = (0,9, 0,85)$;
- для 2-го КЭ — $(Y_2^0, Y_2^3) = \dots$ и т. д.

3. Возможные нечеткие значения для вероятностей обнаружения и задержки нарушителя — набор термов $T_{обн}$ и $T_{зад}$:

Например, $T_{обн} = \{\text{"очень низкая"}; \text{"низкая"}; \text{"средняя"}; \text{"высокая"}; \text{"очень высокая"}\}$ и $T_{зад} = \{\text{"очень низкая"}; \text{"низкая"}; \text{"средняя"}; \text{"высокая"}; \text{"очень высокая"}\}$. Каждый терм задается функцией принадлежности в виде нечеткого множества, например "средняя" — $\{(0,2, 0,05) (0,3, 0,2) (0,35, 0,3) (0,4, 0,5) (0,43, 0,7) (0,45, 0,9) (0,5, 1) (0,55, 0,9) (0,57, 0,7) (0,6, 0,5) (0,65, 0,3) (0,7, 0,2) (0,8, 0,05)\}$. Для хранения данных задачи используем вместо имен термов их порядковые номера: 1 — "очень низкая"; 2 — "низкая" и т. д. Обязательно должен присутствовать терм для обозначения отсутствия средств защиты на участке пути, т. е. нечеткое число, описывающее нулевую вероятность. Например, терм с номером 0 — "нулевая".

4. Условные стоимости средств защиты.

Каждое средство защиты, которое может быть в составе СФЗ, должно характеризоваться материальными затратами на установку и эксплуатацию для подсчета стоимости всей СФЗ. Обычно чем ниже стоимость средств защиты, тем ниже их качествен-

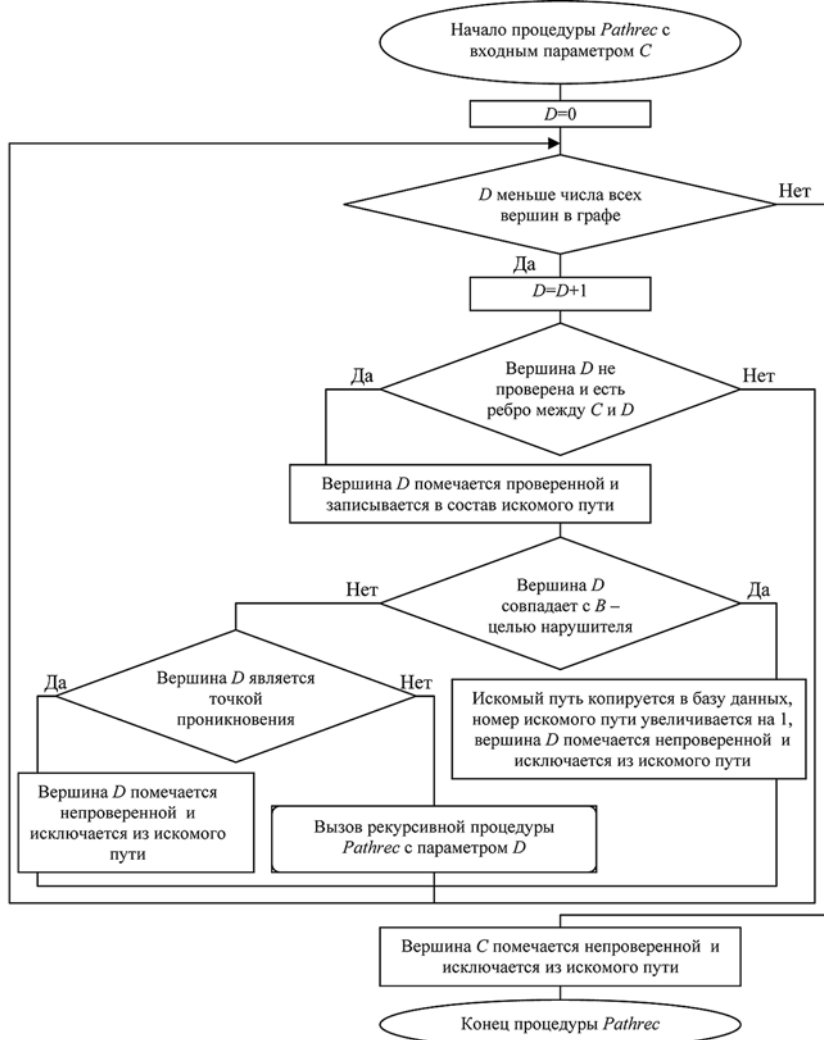


Рис. 1. Блок-схема модифицированного алгоритма поиска путей

ные характеристики, в том числе вероятности обнаружения и задержки нарушителя. Так как в данной задаче средства защиты характеризуются только вероятностями обнаружения или задержки нарушителя, используем следующее упрощение: считаем, что все средства с одинаковой вероятностью обнаружения или задержки стоят одинаково. Сопоставляем каждому нечеткому значению вероятностей свою условную стоимость и введем обозначения:

- $C_{обн}^1$ для $P_{обн} = \text{"низкая"}$, $C_{обн}^2$ для $P_{обн} = \text{"средняя"}$, $C_{обн}^3$ для $P_{обн} = \text{"высокая"}$... — стоимости средств обнаружения;
- $C_{зад}^1$ для $P_{зад} = \text{"низкая"}$, $C_{зад}^2$ для $P_{зад} = \text{"средняя"}$, $C_{зад}^3$ для $P_{зад} = \text{"высокая"}$... — стоимости средств задержки нарушителя.

Простейший способ задания стоимостей — приравнять число условных единиц к номеру нечеткого значения с условием, что нулевая вероятность имеет

Пример информации в одной хромосоме

| Но-мер | Имя | Обнаружение | Задержка |
|--------|--|--------------------|--------------------|
| 1 | Входная дверь (рубеж 1) | № 2 "низкая" | № 0 "нулевая" |
| 2 | Коридор (зона 1) | № 0 "нулевая" | № 1 "очень низкая" |
| 3 | Дверь в лабораторию (рубеж 2) | № 1 "очень низкая" | № 1 "очень низкая" |
| 4 | Окно в лаборатории (рубеж 3) | № 0 "нулевая" | № 0 "нулевая" |
| 5 | Лаборатория (зона 2) | № 0 "нулевая" | № 2 "низкая" |
| 6 | Прилегающая к окну территория (зона 3) | № 0 "нулевая" | № 0 "нулевая" |

номер 0 (отсутствие средств защиты — нет затрат) и остальные вероятности нумеруются по возрастанию нечеткого значения, начиная с 1. Тогда средство с самой низкой вероятностью будет самым дешевым — одна условная единица:

- $C_{\text{обн}}^1 = 1$ для $P_{\text{обн}} = \text{"очень низкая"}$, $C_{\text{обн}}^2 = 2$ для $P_{\text{обн}} = \text{"низкая"}$, $C_{\text{обн}}^3 = 3$ для $P_{\text{обн}} = \text{"средняя"}$, $C_{\text{обн}}^4 = 4$ для $P_{\text{обн}} = \text{"высокая"}$, $C_{\text{обн}}^5 = 5$ для $P_{\text{обн}} = \text{"очень высокая"}$, $C_{\text{зад}}^1 = 1$ для $P_{\text{зад}} = \text{"очень низкая"}$, $C_{\text{зад}}^2 = 2$ для $P_{\text{зад}} = \text{"низкая"}$, $C_{\text{зад}}^3 = 3$ для $P_{\text{зад}} = \text{"средняя"}$, $C_{\text{зад}}^4 = 4$ для $P_{\text{зад}} = \text{"высокая"}$, $C_{\text{зад}}^5 = 5$ для $P_{\text{зад}} = \text{"очень высокая"}$.

5. Ограничения на вероятности обнаружения и задержки нарушителя средствами защиты в каждой зоне и в каждом рубеже объекта.

Независимо от причины ограничений (требований по типу зоны, невозможности установки) данную экспертную информацию можно свести к следующему: вероятности обнаружения и задержки нарушителя средствами защиты в одной зоне или рубеже должны соответствовать заданным ограничениям в виде минимума и максимума. Ограничения могут задаваться как в нечеткой (номера термов), так и в четкой форме (числа от 0 до 1). Возможные ограничения: минимальные значения вероятностей для зон контроля больше 0, так как зона контроля подразумевает обязательную установку средства защиты, а максимальное значение ограничено возможностями имеющихся средств защиты, например 0,9.

Набор ограничений: ($P_{\text{обн min}}^1, P_{\text{обн min}}^2, P_{\text{обн min}}^3, \dots, P_{\text{зад min}}^1, P_{\text{зад min}}^2, P_{\text{зад min}}^3, \dots, P_{\text{обн max}}^1, P_{\text{обн max}}^2, P_{\text{обн max}}^3, \dots, P_{\text{зад max}}^1, P_{\text{зад max}}^2, P_{\text{зад max}}^3, \dots$) сопоставим следующим переменным: ($X_{1 \text{ min}}^0, X_{2 \text{ min}}^0, X_{3 \text{ min}}^0, \dots, X_{1 \text{ min}}^3, X_{2 \text{ min}}^3, X_{3 \text{ min}}^3, \dots, X_{1 \text{ max}}^0, X_{2 \text{ max}}^0, X_{3 \text{ max}}^0, \dots, X_{1 \text{ max}}^3, X_{2 \text{ max}}^3, X_{3 \text{ max}}^3, \dots$).

6. В исходные данные также включается результат работы алгоритма поиска путей. Все найденные пути сохраняются в базу данных в виде последовательностей номеров зон и рубежей. Например, первый путь идет через входную дверь, коридор, дверь лаборатории и заканчивается в КЭ — лаборатории: $W_1 = (1, 2, 3, 5)$. Второй путь идет в лабораторию через окно $W_2 = (6, 4, 5)$ и т. д.

7. Возможные решения (хромосомы) включают в себя информацию о вероятностях обнаружения и защиты на каждом рубеже и в каждой зоне объекта.

Все зоны и рубежи обозначаются именем или порядковым номером, и указываются вероятности в виде номеров термов (табл. 1).

Хромосома, соответствующая табл. 1, имеет следующий вид:

$$h_1 = (X_1^0, X_1^3, X_2^0, X_2^3, X_3^0, X_3^3, X_4^0, X_4^3, X_5^0, X_5^3, X_6^0, X_6^3) = (2, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 2, 0, 0).$$

Один ген данной хромосомы содержит два целых числа X_1^0, X_1^3 . Используем для записи решений десятичную систему счисления.

В соответствии с указанными ограничениями инициализируется исходная популяция потенциальных решений (хромосом).

Процесс поиска решения

Перед генерацией нового поколения хромосом по каждому возможному решению (для каждой хромосомы) проводятся расчеты.

1. Для объекта в целом определяется стоимость средств защиты во всех зонах и рубежах. Например, по табл. 1 получаем всего семь условных единиц:

$$C_{\text{общая}} = C_{\text{обн}}^2 + C_{\text{обн}}^0 + C_{\text{обн}}^1 + C_{\text{обн}}^0 + C_{\text{обн}}^0 + C_{\text{обн}}^0 + C_{\text{зад}}^0 + C_{\text{зад}}^1 + C_{\text{зад}}^1 + C_{\text{зад}}^0 + C_{\text{зад}}^2 + C_{\text{зад}}^0 = 7.$$

2. Для каждого пути получаем массивы-векторы (начало вектора — точка проникновения, конец — защищаемый КЭ) с нечеткими значениями вероятностей обнаружения и задержки на каждом участке пути. Используем следующие переменные.

Путь 1: средства обнаружения:

$$W_1^0 = (X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_5^0) = (2, 0, 1, 0);$$

средства задержки:

$$W_1^3 = (X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_5^3) = (0, 1, 1, 2).$$

Путь 2: средства обнаружения: $W_2^0 = \dots$ и т. п.

Определяем вероятность обнаружения S^O и вероятность задержки S^3 на всем пути по методике, описанной в работе [13]. В задаче применяется α -уровневый принцип обобщения и дефазификация для получения четких значений вероятностей. Четкие значения требуются для операции сравнения рассчитанных вероятностей путей с требуемыми вероятностями. Например, получены [13] четкие значения для первого пути $W_1: (S_1^O, S_1^3) = (0,7456, 0,9931)$.

3. Проверяется целевая функция для оценки эффективности решения (качества хромосомы) и выбора следующей популяции генетического алгоритма.

В данной задаче целевая функция состоит из двух частей.

Первая часть целевой функции F_1 стремится к тому, чтобы вероятности обнаружения и задержки нарушителя на каждом из всех возможных путей к КЭ соответствовали требуемым вероятностям для данного КЭ или превышали их. Если некоторые вероятности меньше, чем требуемые, то значение данной части целевой функции будет равно суммарной разнице между требуемыми и имеющимися вероятностями на всех путях. Если все вероятности превышают требуемые, то значение целевой функции равно нулю.

Приведем формулы анализа первой хромосомы. Требования 1-го КЭ (Y_1^O, Y_1^3) сравниваем с вероятностями первого пути (S_1^O, S_1^3) для хромосомы h_1 .

Оценка первого пути $F_1^1(h_1)$ рассчитывается по формуле

$$F_1^1(h_1) = No_1^1 + Nz_1^1,$$

$$\text{где } No_1^1 = \begin{cases} 0, & \text{если } Y_1^O \leq S_1^O; \\ (Y_1^O - S_1^O), & \text{если } Y_1^O > S_1^O; \end{cases}$$

$$Nz_1^1 = \begin{cases} 0, & \text{если } Y_1^3 \leq S_1^3; \\ (Y_1^3 - S_1^3), & \text{если } Y_1^3 > S_1^3. \end{cases}$$

Аналогично оцениваются остальные пути. Получаем значения для второго пути $F_1^2(h_1)$, для третьего $F_1^3(h_1)$ и т. д.

Значение первой части целевой функции для текущей хромосомы h_1 равняется сумме оценок всех путей:

$$F_1(h_1) = F_1^1(h_1) + F_1^2(h_1) + F_1^3(h_1) + \dots$$

Вторая часть целевой функции F_2 стремится к уменьшению суммарной стоимости средств защиты на объекте. Ее значение

$$F_2(h_1) = C_{\text{общая}}$$

Таким образом, чем больше значения обеих частей целевой функции, тем менее эффективно решение. Большая разность между требуемыми и имеющимися вероятностями означает недостаточную защиту объекта, а большая суммарная стоимость — это лишние затраты на создание и обслуживание СФЗ.

4. Соответствие решения каждой части целевой функции влияет на эффективность (приспособленность) $\mu(h_i)$ хромосомы. Формулы расчета эффективности задаются отдельно для каждой части целевой функции.

Значение эффективности для первой части целевой функции рассчитывается следующим образом:

$$\mu_1(h_i) = (F_1(h_{\max}) - F_1(h_i)) / \sum_{k=1}^n (F_1(h_{\max}) - F_1(h_k)),$$

где h_{\max} — хромосома, соответствующая максимальному значению первой части целевой функции, n — общее число хромосом.

При использовании данной формулы хромосома, соответствующая максимальному значению первой части целевой функции, получает эффективность, равную 0 (и в дальнейшем никогда не попадет в родительский пул). Эффективности остальных хромосом распределяются в диапазоне от 0 до 1, причем сумма $\mu_1(h_i)$ будет равна 1. Если обнаруживается равенство эффективностей всех хромосом, то формула неприменима (деление на ноль). В этом случае все $\mu_1(h_i)$ равны и рассчитываются как единица, деленная на число хромосом: $\mu_1(h_i) = 1/n$.

Для второй части целевой функции действуем аналогично:

$$\mu_2(h_i) = (F_2(h_{\max}) - F_2(h_i)) / \sum_{k=1}^n (F_2(h_{\max}) - F_2(h_k)).$$

В случае равенства эффективностей $\mu_2(h_i) = 1/n$.

Общая эффективность хромосомы является средним значением эффективностей для двух частей целевой функции:

$$\mu(h_i) = (\mu_1(h_i) + \mu_2(h_i))/2.$$

Так как две части целевой функции генетического алгоритма противоречат друг другу (снижение недостатка ТК в защите КЭ влечет за собой повышение общего числа ТК, и наоборот), то данная проблема устранена введением в задачу понятия "уровень влияния части целевой функции". Два числа A и B , соотношение которых задает превышение значения одной части целевой функции над другой, участвуют в расчете эффективности хромосомы:

$$\mu(h_i) = (\mu_1(h_i)A + \mu_2(h_i)B)/(A + B).$$

Таким образом, уровень влияния первой части функции равен $A/(A + B)$, а второй $B/(A + B)$. В случае равенства уровней влияния $A = B$ формула вырождается в вышеописанную:

$$\mu(h_i) = (\mu_1(h_i) + \mu_2(h_i))/2.$$

Чем больше разница между числами, тем сильнее одна часть целевой функции влияет на эффективность хромосомы (и на получаемые решения). При равенстве одного числа 0 часть целевой функции исключается из задачи.

В итоге каждой хромосоме присваивается вероятность воспроизведения P_i для получения следующей популяции, которая зависит от эффективности $\mu(h_i)$ данной хромосомы. Используем пропорциональный отбор:

$$P_i = \mu(h_i) / \sum_{i=1}^n \mu(h_i).$$

Так как сумма $\mu(h_i)$ равна единице, то $P_i = \mu(h_i)$.

В соответствии с полученными вероятностями происходит случайный выбор хромосом в промежуточную популяцию (родительский пул) для следующего кроссинговера. После расшифровки информации в хромосоме получаем окончательное решение задачи в виде наборов точек контроля в каждом участке объекта защиты.

Пример. Рассмотрим модельный объект, описанный в работе [11]. На рис. 2 отображена структурно-логическая модель объекта. В табл. 2 перечислены зоны объекта (вершины графа), рубежи (ребра графа) и для всех рубежей и зон заданы ограничения

Таблица 2

Рубежи и зоны модельного объекта

| Номера зон и обозначение рубежей | Описание зон и рубежей | Тип зоны контроля | Минимальная вероятность | | Максимальная вероятность | |
|----------------------------------|--|----------------------------|-------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | | | обнаружения | задержки | обнаружения | задержки |
| 1 | ПЦ-1 | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 1—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 2 | ПЦ-2 | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 2—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 3 | Склад сырья | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 3—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 4 | Склад готовой продукции | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 4—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 5 | Склад ГСМ | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 5—16 | Вход с территории | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 5—14 | Проход на строительный участок | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 5—15 | Проход в гараж | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 6 | Компрессорная станция | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 6—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 6—7 | Переход в котельную | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 7 | Котельная | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 7—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 8 | Административное здание | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 8—16 | Вход с территории | Доступа | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 8—13 | Переход из КПП | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 9 | Материальный склад | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 9—16 | Вход с территории | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 10 | Ремонтно-механический цех | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 10—16 | Вход с территории | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 11 | Железнодорожный КПП | Доступа | 0 | 0,75 | 0,9 | 0,9 |
| 11—16 | Вход с территории | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 12 | Автомобильный КПП | Доступа | 0 | 0,75 | 0,9 | 0,9 |
| 12—16 | Вход с территории | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 13 | КПП | Доступа | 0 | 0,75 | 0,9 | 0,9 |
| 13—16 | Вход с территории | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 14 | Строительный участок | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 14—16 | Вход с территории | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 14—15 | Проход в гараж | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 15 | Гараж | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 15—16 | Вход с территории | Задержки | 0 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 16 | Территория внутри защитного периметра | Обнаружения | 0 | 0 | 0,9 | 0 |
| 17 | Запретная зона защитного периметра | Видеонаблюдения — задержки | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,9 |
| 17—6 | Доступ на крышу компрессорной станции | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 17—7 | Доступ на крышу котельной | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 17—8 | Доступ на крышу административного здания | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 17—9 | Доступ на крышу материального склада | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 17—14 | Доступ на строительный участок | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 17—16 | Доступ на территорию внутри периметра | Задержки | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |

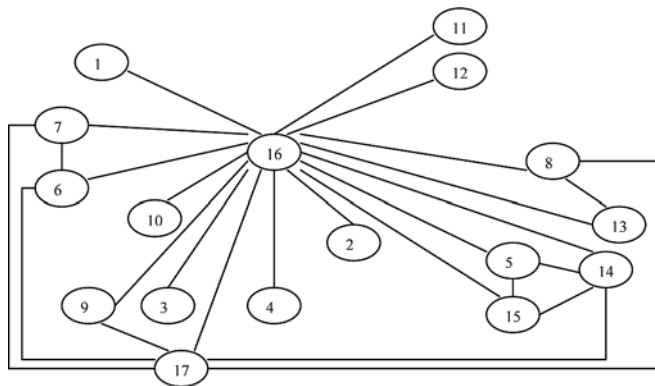


Рис. 2. Структурно-логическая модель объекта

на вероятности обнаружения и задержки. В табл. 3 заданы требуемые вероятности обнаружения и задержки для каждого КЭ.

Использовалось 50 хромосом в популяции. Список используемых в примере нечетких чисел отображен в табл. 4. Кроме имени и функции принадлежности заданы стоимости средств защиты, обеспечивающих данные вероятности (стоимости средств обнаружения и стоимости средств задержки). Для поиска четкого аналога использовался метод дефаззификации — центр тяжести [14].

Далее был проведен поиск путей в графе. Число всех возможных путей между точками проникновения и КЭ составило 665. После отсева путей, включающих в себя более чем одну точку проникновения, осталось 226. До запуска поиска решения выбраны уровни влияния целевых функций 1 для первой и 0,75 для второй и вероятность мутации, равная 0,3.

Найдено наилучшее решение после 46 762 итераций (произошло 263 858 мутаций). Результат отображен в табл. 5. Вероятности обнаружения и задержки на всех путях превышают или равняются требуемым вероятностям, общая стоимость всех средств защиты равна 106 условных единиц. Так как в течение последующих итераций полученные решения показывали соответствие целевой функции, меньшее или равное наилучшему найденному решению, был сделан вывод о попадании в локальный оптимум (экстремум целевой функции — область, в которой любое незначительное изменение параметров решения ведет к увеличению значения целевой функции). Поиск оптимального решения был прерван после 80 000 итераций. Адекватность полученных результатов определялась с помощью программы для оценки эффективности СФЗ — EASI (Estimate of Adversary Sequence Interruption) [9].

Заключение

Представление модели СФЗ в виде набора логических точек контроля при проектировании обосновано требованием к качеству методического и математического аппарата, применяемого на ста-

Таблица 3
Требуемые вероятности обнаружения и задержки для КЭ модельного объекта

| Номер | Наименование | Требуемый уровень защищенности | Требуемые вероятности обнаружения и задержки | |
|-------|---------------------------|--------------------------------|--|------|
| 1 | Производственный цех — 1 | I | 0,95 | 0,85 |
| 2 | Производственный цех — 2 | I | 0,95 | 0,85 |
| 3 | Склад сырья | I | 0,95 | 0,85 |
| 4 | Склад готовой продукции | I | 0,95 | 0,85 |
| 5 | Склад ГСМ | III | 0,85 | 0,75 |
| 6 | Компрессорная станция | I | 0,95 | 0,85 |
| 7 | Котельная | I | 0,95 | 0,85 |
| 8 | Административное здание | V | 0,7 | 0,6 |
| 9 | Материальный склад | IV | 0,8 | 0,7 |
| 10 | Ремонтно-механический цех | III | 0,85 | 0,75 |

Таблица 4
Нечеткие числа, используемые в примере

| Имя нечеткого числа (терма) | Четкое значение (четкий аналог) | Стоимость средств обнаружения (условные единицы) | Стоимость средств задержки (условные единицы) |
|-----------------------------|---------------------------------|--|---|
| Нулевая | 0 | 0 | 0 |
| Почти 0 | 0,0542 | 1 | 1 |
| Очень низкая | 0,1093 | 2 | 2 |
| Низкая | 0,2 | 3 | 3 |
| Ниже средней | 0,3 | 4 | 4 |
| Средняя | 0,5 | 5 | 5 |
| Выше средней | 0,7 | 6 | 6 |
| Высокая | 0,8 | 7 | 7 |
| Очень высокая | 0,8907 | 8 | 8 |
| Почти 1 | 0,9458 | 9 | 9 |

Таблица 5
Расположение средств защиты на объекте с указанием их вероятностей обнаружения и задержки

| Зона или рубеж | Вероятность обнаружения | Вероятность задержки |
|-----------------|-------------------------|----------------------|
| 5—16 | Нулевая | Выше средней |
| 5—14 | Нулевая | Выше средней |
| 5—15 | Нулевая | Выше средней |
| 6—7 | Нулевая | Выше средней |
| 9—16 | Нулевая | Выше средней |
| 10—16 | Нулевая | Выше средней |
| 11 | Нулевая | Высокая |
| 12 | Нулевая | Высокая |
| 13 | Выше средней | Высокая |
| 14—16 | Нулевая | Выше средней |
| 14—15 | Нулевая | Выше средней |
| 15—16 | Нулевая | Выше средней |
| 16 | Почти 1 | Нулевая |
| 17 | Почти 1 | Высокая |
| Общая стоимость | 24 | 82 |

дии концептуального проектирования, которому отводится ведущая роль, так как цена ошибки в дальнейшем может быть очень высока.

Окончательная цель концептуального проектирования — объединение структурно-логической модели объекта и модели СФЗ в виде набора точек контроля, фактически расстановка точек контроля на структурно-логической модели объекта. За поиск наилучшего варианта отвечает адаптированный стандартный генетический алгоритм.

Список литературы

1. Панин О. А. Как измерить эффективность? Логико-вероятностное моделирование в задачах оценки систем физической защиты // Безопасность — Достоверность — Информация. 2008. № 2 (77). С. 20—24.
2. Алаухов С. Ф., Коцеруба В. Я. Концепция безопасности и принципы создания систем физической защиты важных промышленных объектов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. 2002. № 41.
3. Бояринцев А. В., Бражник А. Н., Зуев А. Г. Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов. СПб.: ЗАО "НПП "ИСТА-Системс", 2006. 252 с.
4. Петров В. Системы физической защиты. Пути построения и модернизации. Оценка эффективности // Безопасность — Достоверность — Информация. 2005. № 3 (60). С. 6—12.
5. Корчагин С., Леус А., Филимонов А., Шанаев Г. Порядок проведения оптимизации структуры ИКСФЗ на основе выбора наиболее эффективных альтернативных вариантов // Безопасность — Достоверность — Информация. 2010. № 3 (89). С. 6—9.
6. Давидюк Н. В., Белов С. В. Формирование начальной популяции в процедуре генетического поиска варианта эффективного расположения средств обнаружения на объекте защиты // Вестник Астраханского ГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 1. С. 114—118.
7. Вишнякова Т. О., Васильев В. И. Анализ эффективности систем физической защиты при помощи марковской сетевой модели // Вестник Уфимского ГАТУ. Т. 9. 2007. № 7 (25). С. 11—19.
8. Радаев Н. Н. Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий // Безопасность — Достоверность — Информация. 2007. № 3 (72). С. 28—32.
9. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты: Пер. с англ. М.: Мир: Издательство АСТ, 2002. 386 с.
10. Боровский А. С. Обоснование требований (показателей качества) к оценке защищенности потенциально опасных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 7 (109). С. 52—56.
11. Боровский А. С., Тарасов А. Д. Автоматизированное проектирование и оценка систем физической защиты потенциально опасных (структурно сложных) объектов. В 3 ч. Ч. 2. Модели нечетких систем принятия решений в задачах проектирования систем физической защиты. М.: "Омега — Л"; Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2013. 248 с.
12. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. М.: Горячая линия — Телеком, 2006. 452 с.
13. Боровский А. С., Тарасов А. Д. Приближенная оценка защищенности потенциально-опасных объектов. Структурные параметры защищенности объектов // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С. 242—250.
14. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Изд-во Винницкого государственного технического университета, 2001. 198 с.

A. S. Borovsky, Deputy Director, e-mail: borovski@mail.ru,

The Institute of risk management and comprehensive security — the Orenburg state agrarian University

The Method of Determining the Optimal Level of Capabilities Engineering Protection on the Object in the Task of Designing Physical Protection Systems

A method for optimal placement of funds engineering protection on structural and logical object model and determine the optimal level of their capabilities (detection delay).

Presents the object model, in the form of two levels: the structural-logical representing the object structure and the relationships between its elements and functional, as in the object model, you must consider the data about the production process of the object.

The notion of control points, which allows to abstract from the physical nature of the source of the event, and to operate only logical elements. Physically, the point of control is one or more elements of the engineering and technical means of protection, i.e. a specific physical device, such as a signaling device (sensor), the actuator (electromagnetic lock), or device that controls access.

The model of the physical protection system are presented in the form of a set of control points and determined the minimum required their part to protect one critical element of the object.

Introduced the following notion of control points: point detection; access point; the point of the video; the point of delay.

Each control point is characterized by two parameters: the probability of detection and probability of delay, which determine the level of capabilities of the engineering and technical protection.

Defined standard genetic algorithm is responsible for the quality of the solution (optimization) and task data adapted to the subject area of research.

The novelty of this work is to use the model of the logical inspection points that are not associated with specific physical devices ITSО, which significantly simplifies the algorithm finds the optimal solution.

Keywords: *the system of physical protection, engineering and technical means of protection, the probability of detection, probability of delay, the algorithm of the search paths, the uncertainty, the standard genetic algorithm, fuzzy variables*

References

1. **Panin O. A.** Kak izmerit' jeffektivnost'? Logiko-verojatnostnoe modelirovanie v zadachah ocenki sistem fizicheskoy zashhity. *Bezopasnost' — Dostovernost' — Informacija*. 2008. N. 2 (11). P. 20—24.
2. **Alauhov S. F., Koceruba V. Ja.** Konceptcija bezopasnosti i principy sozdaniya sistem fizicheskoy zashhity vaznyh promyshlennyh ob"ektov. *Sistemy bezopasnosti, svyazi i telekommunikacij*. 2002. N. 41. P. 24—29.
3. **Bojarincev A. V., Brazhnik A. N., Zuev A. G.** Problemy anti-terrorizma: *Kategorirovanie i analiz ujazymosti ob"ektov*. SPb.: ZAO "NPP "ISTA-Sistems", 2006. 252 p.
4. **Petrov V.** Sistemy fizicheskoy zashhity. Puti postroenija i modernizacii. Ocenka jeffektivnosti. *Bezopasnost' — Dostovernost' — Informacija*. 2005. N. 3 (60). P. 6—12.
5. **Korchagin S., Leus A., Filimonov A., Shanaev G.** Porjadok provedenija optimizacii struktury IKSFZ na osnove vybora naibolee jeffektivnyh al'ternativnyh variantov. *Bezopasnost' — Dostovernost' — Informacija*. 2010. N. 3 (89). P. 6—9.
6. **Davidjuk N. V., Belov S. V.** Formirovanie nachal'noj populjacii v procedure geneticheskogo poiska varianta jeffektivnogo raspolozhenija sredstv obnaruzhenija na ob"ekte zashhity. *Vestnik Astrahanskogo GTU. Ser. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*. 2009. N. 1. P. 114—118.
7. **Vishnjakova T. O., Vasil'ev V. I.** Analiz jeffektivnosti sistem fizicheskoy zashhity pri pomoshhi markovskoj setевой modeli. *Vestnik Ufimskogo GATU*. 2007. V. 9. N. 7 (25). P. 11—19.
8. **Radaev N. N.** Priblizhennye ocenki zashhishhennosti ob"ektov ot terroristicheskikh dejstvij. *Bezopasnost' — Dostovernost' — Informacija*. 2007. N. 3 (72). P. 28—32.
9. **Garsia M.** *Proektirovanie i ocenka sistem fizicheskoy zashhity*. Per. s angl. M.: Mir: Izdatel'stvo AST, 2002. 386 p.
10. **Borovskij A. S.** Obosnovanie trebovanij (pokazatelej kachestva) k ocenke zashhishhennosti potencial'no opasnyh ob"ektov. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*. 2013. N. 7 (109). P. 52—56.
11. **Borovskij A. S., Tarasov A. D.** *Avtomatizirovanoe proektirovanie i ocenka sistem fizicheskoy zashhity potencial'no opasnyh (struktumno slozhnyh) ob"ektov*. V. 3 ch. Ch. 2. *Modeji nechetkih sistem prinjatija reshenij v zadachah proektirovanija sistem fizicheskoy zashhity: monografija*. M.: Izdatel'stvo "Omega — L"; Orenburg: Izdatel'skij centr OGAU, 2013. 248 p.
12. **Rutkovskaja D., Pili'skij M., Rutkovskij L.** *Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy*. Per. s pol'sk. I. D. Rudinskogo. M.: Gorjachaja linija — Telekom, 2006. 452 p.
13. **Borovskij A. S., Tarasov A. D.** Priblizhennaja ocenka zashhishhennosti potencial'no-opasnyh ob"ektov. Strukturnye parametry zashhishhennosti ob"ektov. *Programmnye produkty i sistemy*. 2013. N. 3. P. 242—250.
14. **Shtovba S. D.** *Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv i nechetkiju logiku*. Vinnica: Izd-vo vinnickogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 2001. 198 p.

Инфокоммуникационные технологии и общество

Многочисленные социологические теории, в которых осмысливается состояние человеческой цивилизации в начале третьего тысячелетия, практически едины в характеристике современного общества как информационного, то есть основанного на всепроникающем применении компьютеров и инфокоммуникационных технологий (ИКТ). И именно в сегодняшнем стремительно меняющемся мире особенно важна не простая констатация, но и глубокое понимание самой тесной взаимосвязи технического прогресса с развитием социума — хотя нельзя не сказать, что у профессионалов в компьютерной области такое понимание сложилось достаточно давно. Так, одно из старейших и влиятельнейших профессиональных обществ — IFIP (International Federation of Information Processing) вот уже сорок лет проводит конференции *Human Choice and Computers*. Очередная конференция HCC11 прошла с 30 июля по 1 августа в университете г. Турку (Финляндия).

Доклады, включенные в программу конференции, охватывали широкий спектр вопросов: этика компьютинга, ИКТ и трудовые отношения, ИКТ и устойчивое развитие, ИКТ и право, виртуальность и реальность, социальная ответственность работников в сфере ИКТ, роль ИКТ в развивающихся странах и др.

По традиции широко были представлены работы исторической направленности. В основном на впервые вводимых в научный оборот документах докладе Мари д'Юдекем-Живерс (университет г. Намюра, Бельгия) "Математическая машина *IRSIA-FRNS*" была рассказана история создания в 1950-х годах первого бельгийского электронного компьютера, а Кристофер Лесли и Патрик Гричка из Нью-Йоркского университета в своем выступлении охарактеризовали особенности (вероятно, общие для всех восточноевропейских стран) формирования компьютерных сетей в Польше и их использования в борьбе против тоталитарного режима.

В двух докладах в исторической ретроспективе были рассмотрены вопросы внедрения информационных технологий в образование. Рамон Пюигьянер (университет Балеарских островов) и Хорди Форнес (Барселонский технический университет) основывались на опыте испанского высшего образования в целом, а Артур Татнал (университет Мельбурна) и Билл Дэви (университет РМИТ, Мельбурн) — на опыте университетов и школ штата Виктория.

Приятно, что активное участие в работе исторической секции приняли российские специалисты. Марина Смолевицкая (Политехнический музей, Москва) описала хранящиеся в Политехническом музее личные фонды основоположников советской вычислительной техники С. А. Лебедева, В. С. Бурцева, И. С. Брука и М. А. Карцева. Пожалуй, самую оживленную дискуссию вызвал доклад Валерия Шилова и Сергея Силантьева (МАТИ, Москва) "Разум и ортодоксия, или Уроки судьбы русской логической машины", в котором авторы на примере судьбы выдающегося российского ученого Александра Николаевича Щукарёва (1864—1936) наглядно показали пагубность идеологического вмешательства государства в научное творчество.

Остается добавить, что издательством *Springer* в известной серии *IFIP Advances in Information and Communication Technology* уже к началу конференции был издан сборник трудов (ICT and Society. Eds.: K. Kimppa, D. Whitehouse et al. Springer, 2014).

В. В. Шилов, С. А. Силантьев
МАТИ — Российский государственный
технологический университет имени К. Э. Циолковского

**Указатель статей,
опубликованных в журнале
"Информационные технологии"
в 2014 году**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Зацман И. М.** Информационно-компьютерная наука: технологические предпосылки становления . № 3
Нечаев В. В. Современные бионические информационные технологии № 8

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

- Амосова Е. С.** Разработка онтологической модели предметной области "Инновационные разработки в научных исследованиях" № 2
Аристов А. О. Особенности моделирования потоковых систем на основе квазиклеточных сетей с использованием структурной методологии проектирования № 6
Божко А. Н., Сюсюкалов Б. С. Математические модели базирования и избыточности в механических системах № 3
Бронштейн Е. М., Зелёв П. А. Задача маршрутизации транспортного средства с учетом зависимости стоимости перевозок от загрузки № 4
Бульчев Г. Г. Численное моделирование динамики и динамического разрушения арочных и мостовых конструкций № 1
Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Кошечев И. С. Разработка логистической транспортной системы для решения задачи доставки груза различным клиентам. Часть 2. № 1
Васюков А. В., Ермаков А. С., Петров И. Б., Потапов А. П., Фаворская А. В., Шевцов А. В. Комбинирование сеточно-характеристического метода и метода сглаженных частиц в задачах компьютерного моделирования упругопластических тел. № 3
Гаврюшин С. С., Евгеньев Г. Б. Многокритериальная оптимизация в жизненном цикле изделий . . № 2
Грушин В. А., Архипова Я. А. Динамическая модель краткосрочного прогнозирования социально-экономических процессов № 9
Димов Э. М., Маслов О. Н., Трошин Ю. В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования. № 6
Дудаков Н. С., Шумилов Ю. Ю. Гибридная система управления хранением и оптимизации данных в АСУ № 9
Зак Ю. А. Сужение множества Парето на основе методов нечеткой логики в задачах многокритериального выбора № 4
Иванников А. Д., Стемповский А. Л. Формализация задачи отладки проектов цифровых систем. . . № 9

- Имамвердиев Я. Н.** Модель ситуационного управления информационной безопасностью электронного правительства. № 8
Карпенко А. П., Сахаров М. К. Мультиимеетовая глобальная оптимизация на основе алгоритма эволюции разума № 7
Куравский Л. С., Мармалюк П. А., Баранов С. Н., Алхимов В. И., Юрьев Г. А., Артюхина С. В. Марковские модели глазоподвижной активности и их применение для тестирования профессиональных навыков. № 8
Левин В. И. Методология оптимизации в условиях неопределенности методом детерминизации . . № 5
Левин В. И. Устойчивость решения задач оптимизации в условиях неопределенности № 2
Лучкова С. В., Перемитина Т. О., Ященко И. Г. Применение программного комплекса анализа многомерных данных на основе нечеткого и статистического моделирования № 1
Маничев В. Б., Жук Д. М., Витюков Ф. Т. Достоверное и точное численное моделирование динамических систем при невысоких требованиях к математической точности конечных результатов № 4
Матвеев М. Г., Сирота Е. А. Разработка и исследование статистических моделей нестационарного многомерного временного ряда атмосферных температур в условиях неоднородности № 12
Мистров Л. Е. Метод оптимизации облика иерархических систем информационной безопасности . . № 4
Орехов Э. Ю. Равновероятная генерация целочисленных задач прямоугольного раскроя-упаковки. . № 2
Перегуда А. И. Математическая модель надежности информационной системы, состоящей из объекта защиты и N систем безопасности № 10
Родионов А. Н. Моделирование и реализация отношения "is part of" на множестве композитных сущностей баз данных № 7
Светушков Н. Н. Метод струн в задачах многомерной нестационарной теплопроводности. № 12
Семькина Н. А., Смирнов А. А. Применение генетического алгоритма для решения одной задачи оптимального управления. № 4
Стемповский А. Л., Тельпухов Д. В., Соловьев Р. А., Соловьев А. Н., Мячиков М. В. Моделирование возникновения неисправностей для оценки надежных характеристик логических схем. . . № 11
Усков А. А., Жукова А. Г. Матричное представление иерархических визуальных моделей для CASE-средств. № 11
Четырбоцкий А. Н. Численное моделирование вязкости мантии Земли методами радиально-базисных функций в среде MATLAB № 1
Якимов Н. М., Чувашев С. Н. Программное средство для комплексного математического моделирования сложных технических объектов № 11

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Николаева М. А., Зотова О. Ф., Шолохова Н. В. Система поддержки принятия решений при управлении депозитным портфелем физических лиц коммерческого банка № 2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Антонов А. В., Сальников Н. Л., Хромова М. О., Чепурко В. А. Обоснование метода ядерного оценивания параметра потока отказов восстанавливаемых технических систем № 12

Астахова И. Ф., Ушаков С. А. Применение искусственных иммунных систем для распараллеливания процесса вычисления № 4

Баранов М. А. Составные ключевые термины в задаче кластеризации текстовых документов № 1

Болотова Л. С., Карасев А. А., Старых В. А. Формализация экспертных знаний для управления инцидентами информационных систем на основе онтологического подхода № 6

Варфоломеева А. А., Стрижов В. В. Алгоритм разметки библиографических списков методами структурного обучения № 7

Воронов Р. В., Мошевикин А. П. Применение условной энтропии при формировании рекомендаций по размещению базовых станций в локальных системах позиционирования № 10

Зак Ю. А. Модифицированные генетические алгоритмы решения многоэкстремальных задач в условиях ограничений № 10

Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Интегральная OLAP-модель предметной области для аналитической поддержки принятия решений № 12

Кузьмин А. А., Адуенко А. А., Стрижов В. В. Тематическая классификация тезисов крупной конференции с использованием экспертной модели № 6

Кухаренко Б. Г., Солнцева М. О. Использование методов сокращения фона при сегментировании телеметрических изображений для идентификации групп объектов № 2

Кухаренко Б. Г., Солнцева М. О. Итеративная кластеризация траекторий управляемых объектов в многомерном пространстве характеристик № 8

Кухаренко Б. Г., Солнцева М. О. Кластеризация управляемых объектов на основе сходства их многомерных траекторий № 5

Кухаренко Б. Г., Солнцева М. О. Покомпонентный дискриминантный анализ результатов кластеризации многомерных траекторий № 11

Лебедев Г. Н., Семенов М. Е., Грачиков Д. В., Канищева О. И. Гистерезисная модель синхронизации биологических нейронов № 6

Левин В. И. Интервально-дифференциальное исчисление и некоторые его применения № 7

Мохов А. С., Толчеев В. О. Разработка методов высокоточной классификации двуязычных текстовых библиографических документов № 5

Мочалов И. А., Хрисат М. С. Оценивание параметров модели по нечетким случайным данным № 2

Савченко Л. В. Автоматическое распознавание изолированных слов на основе теории нечетких множеств и кластерной модели минимальных речевых единиц № 2

Сакулин С. А., Алфимцев А. Н. Формализация экспертных знаний об удобстве веб-страниц на основе агрегирования пользовательских критериев № 6

Скуратов А. К., Кошкин Д. Е. Сравнение 12 алгоритмов кластеризации данных применительно к задаче кластеризации текстов № 7

Соколов И. В., Агеев А. М., Волобуев М. Ф., Замыслов М. А., Мальцев А. М., Михайленко С. Б. Оценка статистических характеристик сигнала на выходе резервированной системы, управляемой нечетким контроллером № 8

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Амербаев В. М., Соловьев Р. А., Тельпухов Д. В. Метод вычисления циклической свертки на базе БПФ с использованием чисел Прота № 10

Асратян Р. Э. Организация распределенной обработки информационных запросов в мультисерверной сетевой среде № 12

Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Современные сетевые технологии в научных исследованиях № 2

Баранов М. А., Зеленко Г. В., Рошин А. В. Проблемы маршрутизации сообщений в сенсорной локальной сети № 11

Бобков С. Г., Аряшев С. И., Барских М. Е., Зубковский П. С., Ивасюк Е. В. Высокопроизводительные расширения архитектуры универсальных микропроцессоров для ускорения инженерных расчетов № 6

Велиев Ф. М. Оптимизация вегетационного цикла роста растений по информационному критерию при использовании индекса листевой площади № 11

Вишнеков А. В., Иванова Е. М., Филиппов В. А. Выбор среды передачи данных при проектировании локальных вычислительных сетей № 5

Инютин С. А. Особенности вычисления характеристик модулярной величины № 5

Перепелкин Д. А. Динамическое формирование структуры и параметров линий связи корпоративной сети на основе данных о парных перестановках маршрутов № 4

Поршнев С. В., Божалкин Д. А. Технология семантического анализа дампа трафика информационных потоков в компьютерных сетях № 11

Соловьев А. Н., Стемпковский А. Л. Методы повышения отказоустойчивости работы устройства управления микросистемы за счет введения структурной избыточности № 10

- Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Горелов Г. А., Малахов С. В.** Анализ входящего трафика на уровне трех моментов распределений временных интервалов № 9
- Шилов С. Н., Кургалин С. Д., Крыловецкий А. А.** Анализ и реализация механизма репликации ресурсных записей в DNS-кластере № 6

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

- Авдошин С. М., Песоцкая Е. Ю.** Экосистемы программного обеспечения: инновации в ИТ . . № 8

WEB-ТЕХНОЛОГИИ

- Шокин Ю. И., Веснин А. Ю., Добрынин А. А., Клименко О. А., Рычкова Е. В.** Анализ веб-пространства академических сообществ методами вебметрики и теории графов № 12

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Анисимов В. И., Гридин В. Н., Шабани М. А.** Методы построения высокопроизводительных распределенных систем автоматизации схмотехнического проектирования № 8
- Гаврилов С. В., Иванова Г. А., Манукян А. А.** Новые проблемы логико-топологического синтеза заказных сложно-функциональных блоков и методы их решения. № 8
- Гаврилов С. В., Рыжова Д. И., Стемповский А. Л.** Проблема анализа пикового тока при проектировании сверхбольших интегральных схем на логическом уровне и современные методы ее решения № 6
- Гурарий М. М., Жаров М. М., Русаков С. Г., Ульянов С. Л.** Методы моделирования в частотной области периодических режимов автогенераторных схем. № 10
- Ракитин В. В., Русаков С. Г.** Электрические модели мемристорных элементов. № 8
- Салеев Д. В., Преображенский А. П.** Анализ особенностей САПР для ПЛИС № 9
- Струченков В. И.** Алгоритмы нелинейного программирования для САПР железнодорожных трасс. № 9

БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

- Артюшенко В. М., Аббасова Т. С.** Эффективность защиты от внешних помех электропроводных каналов структурированных кабельных систем для передачи высокоскоростных информационных приложений. № 5
- Богданов М. Р., Захаров А. В., Габидуллин Ю. З., Думчиков А. А., Дмитриев В. Г.** Кодирование текста с помощью музыки № 11
- Волосатова Т. М.** Исследования стеганографических методов защиты проектной документации от несанкционированного доступа. № 4
- Долгопятов А. Ю.** Восстановление удаленных данных № 5

- Тарасюк М. В.** Выбор топологии VPN-сети с учетом требований конфиденциальности характеристик телекоммуникационной нагрузки № 1
- Чичварин Н. В.** Выбор методов защиты проектной документации от несанкционированного доступа . . № 5
- Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.** Защита от атак на уязвимости приложений № 9

КОДИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

- Дворников С. В., Цветков В. В., Устинов А. А.** Компенсация движения при кодировании подвижных изображений на основе разбиения кодируемого блока кадров на непересекающиеся группы № 5

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Балонин Н. А., Балонин Ю. Н., Сергеев М. Б.** О модификации метода Скарпи вычисления матриц Мерсенна для задач преобразования изображений № 4
- Маркелов К. С., Нечаев В. В.** Алгоритм повышения качества цифровых изображений дактилоскопической информации. № 10
- Соломещ Н. А., Браиловский И. В.** Анализ и оптимизация работы вейвлетного видеокодека в условиях передачи видеопотока по нестабильному каналу связи № 1
- Терехин А. В.** Распознавание трехмерных объектов по изображениям двух проекций. № 4

БАЗЫ ДАННЫХ

- Набибекова Г. Ч.** Об одном методе фаззификации атрибутов хранилища данных в системах поддержки принятия решений в сфере внешней политики № 1
- Фисун Н. Т., Горбань Г. В.** Модели и методы построения системы OLAP для объектно-ориентированных баз данных № 1

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Волынская А. В.** Разработка устройств формирования и оптимальной обработки сложных двоичных сигналов для информационных систем железнодорожного транспорта № 2

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Залещанский Б. Д., Свиридов А. П., Павлова О. А., Шалобина Е. А.** Вероятностно-статистические стратегии обеспечения качества подготовки персонала социо-технических систем путем оптимизации полных и частичных проверок № 7
- Исмагилова Л. А., Орлова Е. В.** Методологические основы и инструментарий бюджетно-налогового моделирования и прогнозирования. № 3

- Сербулов Ю. С., Глухов Д. А., Малышев В. А.** Модель подсистемы нейтрализации внешних воздействий на производственно-экономическую систему в условиях конкурентной борьбы № 9
- Токмакова А. А.** Алгоритм стохастического отбора объектов и признаков в задаче банковского кредитного скоринга № 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

- Абдуллаев Н. Т., Дышин О. А., Абдуллаева Г. Э.** Интервальные байесовские механизмы вывода при дифференциальной диагностике нервно-мышечных заболеваний. № 10
- Михайлов Д. М., Стариковский А. В., Конев В. Н., Смирнов А. С., Боручинкин А. Ю., Харьков С. М.** Программное обеспечение для автоматизированного анализа изображений желудочно-кишечного тракта. № 11
- Садыков С. С., Буланова Ю. А., Канунова Е. Е., Захарова Е. А.** Разработка концепций построения информационной системы диагностики новообразований на маммограммах. № 10

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Агаев Ф. Г., Джавадов Н. Г., Асадов Х. Г., Халафов Р. В.** Новый способ оптимизации дистанционного зондирования неоднородных участков природных и техногенных сред № 2
- Афанасьев А. А., Замятин А. В.** Оценка применимости подходов к идентификации изменений ландшафтного покрова по данным дистанционного зондирования Земли № 4
- Мальцев А. В.** Технология формирования детальной текстуры земной поверхности для космических тренажерных комплексов № 12
- Потапов В. П., Попов С. Е., Замираев Р. Ю.** ГИС-сервис для расчета интенсивности землетрясений на базе технологии Google App Engine № 2
- Тимохин П. Ю., Торгашев М. А.** Визуализация космических сцен в расширенном диапазоне в режиме реального времени № 12
- Цветков В. Я.** Ситуационное моделирование в геоинформатике № 6
- Черняев А. В., Павлов А. А.** Географическая информационная система малого речного бассейна и особенности ее формирования в задачах моделирования нефтяных загрязнений № 2

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

- Булакина М. Б., Иванников А. Д.** Федеральный портал "Российское образование" как средство агрегации образовательных информационных ресурсов № 12
- Иванников А. Д.** Тематические интернет-порталы как средство агрегации электронного контента в заданной предметной области № 3

- Игнатова И. Г., Берёза Е. О.** Модель интеграции гетерогенных информационных ресурсов с гибким управлением связями № 11
- Пастушак Т. Н., Соколов С. С., Ковальникова Н. М., Маньковская А. В.** Приоритетные направления развития электронной информационно-образовательной среды отраслевого университетского комплекса. № 9
- Смагин А. А., Липатова С. В., Курилова О. Л.** Метод численной оценки профессиональных и общекультурных компетенций студента и выпускника вуза. № 9
- Юрин А. И., Красивская М. И., Дмитриев А. В., Злодеев Г. Ю.** Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе . . . № 6

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Ермачихин А. В., Литвинов В. Г.** LabVIEW в современной индустрии измерений (обзор) № 3

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Амирасланова З. Н.** Автоматизация формирования чертежей арматуры железобетонных конструкций № 8
- Богодистова Е. С., Мамченко А. Е., Шамров М. И.** Программируемые контроллеры в компьютерных и управляющих системах. № 11
- Боровский А. С.** Метод определения оптимального уровня возможностей средств инженерно-технической защиты на объекте в задачах проектирования систем физической защиты № 12
- Добрынин А. С., Койнов Р. С.** Об одном алгоритме построения расписаний в условиях временных ограничений № 10
- Иващенко А. В., Пейсахович Д. Г.** Метод проактивной диспетчеризации в информационной среде для транспортных операторов 5PL. № 3
- Игнатович В. К., Саламатин И. М., Саламатин К. М., Сеннер А. Е.** Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов с использованием сетевых технологий № 12
- Козлова Л. А., Трубочкина Н. К.** Информационные технологии в английской лингвистике — визуализация правил грамматики № 7
- Марченко А. М., Попов Е. А., Савченко В. Ю.** Трасировка соединений в нанометровых стандартных ячейках с помощью шаблонов. № 10
- Михайлов В. Ю., Гридин В. Н., Мазепа Р. Б.** Безопасное информационное взаимодействие. Проблемы и решения № 10
- Новак Е. В.** Информационно-коммуникационные технологии: оценка эффективности № 8
- Полищук Ю. В., Черных Т. А.** О способах реализации концепции единого источника № 7

Журнал в журнале
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Аведьян Э. Д., Луганский В. Э.** Подход к задаче заполнения числовых пропусков в таблицах и строках, основанный на многослойной нейронной сети и нейронной сети СМАС № 1
- Аведьян Э. Д., Луганский В. Э.** Способы повышения точности заполнения числовых пропусков в таблицах, основанные на модифицированных нейронных сетях СМАС № 5
- Аникин В. И., Карманова А. А.** Обучение искусственной нейронной сети Кохонена клеточным автоматом № 11
- Барский А. Б.** Рейтинговые системы на логических нейронных сетях № 11
- Боронников Д. А., Пантюхин Д. В., Данько С. В.** Нейросетевой алгоритм организации пространственных данных о рельефе местности. № 7
- Галушкин А. И.** Метод обратного распространения ошибки и российские работы по теории нейронных сетей. № 7
- Гриняк В. М., Головченко Б. С., Десятисильный А. С.** Нейронечеткая обучаемая система распознавания опасного сближения судов. № 9
- Игнатъев Д. И., Храбров А. Н.** Нейросетевое моделирование нестационарных продольных аэродинамических характеристик самолета № 3
- Кинарский А. В., Жернаков С. В.** Стендовая отладка параметров авиационного газотурбинного двигателя на основе нейросетевых технологий . . . № 3
- Мандрикова О. В., Полозов Ю. А.** Аппроксимация и анализ ионосферных параметров на основе совмещения вейвлет-преобразования с коллективами нейронных сетей № 7
- Мышев А. В.** Архитектура виртуальной потоковой вычислительной системы на основе информационной модели нейросети № 5

- Осипов В. Ю.** Рекуррентная нейронная сеть со структурой слоев в виде двойной спирали. № 7
- Савченко А. В.** Сегментация речи в задачах автоматического обнаружения и распознавания голосовых команд № 1
- Сирота Е. А.** Прогнозирование нестационарных временных последовательностей на основе иерархических многослойных нейронных сетей № 1
- Скорородов А. В.** Обнаружение воздушного судна по спектру его звукового сигнала с использованием нейросетевого классификатора № 3
- Чеботарев В. В.** Логическая нейронная сеть в основе контроля данных о перевозке грузов на железнодорожном транспорте № 9

**Указатель приложений к журналу
"Информационные технологии"
в 2014 году**

- Артамонов С. Е., Затуливетер Ю. С., Козлов В. А., Фищенко Е. А.** Элементы стратегии и архитектурные предпосылки опережения в области однокристальных многопроцессорных компьютеров с массовым параллелизмом. № 2
- Инсаров В. В., Тихонова С. В., Михайлов И. И.** Проблемы построения систем технического зрения, использующих комплексирование информационных каналов различных спектральных диапазонов № 3
- Кухаренко Б. Г.** Алгоритмы восстановления и сверхразрешения изображений № 1
- Нейрокомпьютеры с использованием мемристоров** № 4
- Панов А. Д.** Технологическая сингулярность, теорема Пенроуза об искусственном интеллекте и квантовая природа сознания. № 5
- Полунов Ю. Л., Шилов В. В.** БББ: Бэббидж. Биография. Библиография № 6

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова.*

Корректор *Е. В. Комиссарова.*

Сдано в набор 03.10.2014. Подписано в печать 19.11.2014. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ1214. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru