

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ СО РАН им. В.Е. ЗУЕВА



НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР

**МАТЕРИАЛЫ
ДВЕНАДЦАТОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
4–8 июня 2018 г.**

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-07-20033)*

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2018

УДК 004(082)
ББК 73я431
Н766

Редакционная коллегия выпуска:

С.Н. Торгаев, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
М.Л. Громов, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
Г.Б. Захарова, доцент, УрГАХУ, Екатеринбург
А.М. Горцев, профессор, НИ ТГУ, Томск
Н.В. Шабалдина, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
С.А. Останин, зав. кафедрой программирования НИ ТГУ, Томск

Н766 Новые информационные технологии в исследовании сложных структур :
материалы Двенадцатой конференции с международным участием. 4–8 июня
2018 г. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета,
2018 – 136 с.

ISBN 978-5-94621-698-2

Двенадцатая конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур» была проведена в поселке Катунь Алтайского края с 4 по 8 июня 2018 г.

Материалы сборника ориентированы на использование специалистами в области информационных технологий в различных сферах человеческой деятельности, включая вычислительные и телекоммуникационные системы, образование, архитектуру и градостроительство, охрану природы, здравоохранение, разработку систем искусственного интеллекта, исследование дискретных и стохастических структур управления и связи.

УДК 004(082)
ББК 73я431

ISBN 978-5-94621-698-2

© Томский государственный университет, 2018
© Авторы статей, 2018

Секция 1. РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ АСПЕКТ

С.Б. Арыков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
arykov@sscc.ru

Современные суперкомпьютеры имеют сложную гетерогенную архитектуру, в состав которой в различных комбинациях могут входить CPU, GPU, DSP, ASIC, PLD и др. Эффективно задействовать все эти аппаратные ресурсы с помощью имеющихся средств разработки параллельных программ затруднительно, поэтому дальнейшая разработка автоматизированных высокоуровневых инструментов параллельного программирования является актуальной задачей.

Система программирования Аспект [1] – это экспериментальная система параллельного программирования, разрабатываемая в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН и предназначенная для исследования новых форм представления алгоритмов и методов задания управления в параллельной программе. В её основе лежат асинхронная модель вычислений с управлением на основе строгого частичного порядка [2] и фрагментированное программирование [3], как способ разработки параллельных программ. Архитектурно система Аспект состоит из транслятора с языка Аспект и исполнительной подсистемы.

Суть фрагментированного программирования заключается в представлении алгоритма решения задачи в виде множества фрагментов данных и множества фрагментов кода. Фрагмент кода получает на вход набор входных фрагментов данных, на основе которых вычисляет набор выходных фрагментов данных. Подстановка фрагментов данных в качестве параметров фрагмента кода называется применением фрагмента кода к фрагментам данных (один и тот же фрагмент кода может применяться к различным фрагментам данных). Совокупность фрагмента кода и его входных и выходных фрагментов данных называется фрагментом вычислений. На множестве фрагментов вычислений задаётся частичный порядок, т.е. множество ограничений на порядок выполнения фрагментов (управление).

Для реализации фрагментированного программирования на практике разработан язык управления вычислениями Аспект [3]. В нем фрагменты кода и фрагменты данных записываются на существующем процедурном языке программирования (в настоящее время поддерживается только C++), а фрагменты вычислений и частичный порядок их исполнения задаются средствами языка Аспект.

Для системы Аспект были разработаны и реализованы фрагментированные алгоритмы решения задач LU-разложения матриц, оценки математических ожиданий аддитивных функционалов от траекторий диффузионных процессов [4], взаимодействия короткого лазерного импульса с плазмой методом «частицы-в-ячейках» [5]. Результаты измерений производительности разработанных фрагментированных программ на системе с общей памятью HP ProLiant DL580 G5 (4 процессора Intel Xeon X7350, 16 ядер, 256 Гбайт RAM) показали, что за счёт локальности фрагментов данных и эффективного использования кэш-памяти фрагментированные программы позволяют достигать показателей ускорения, близкого к линейному, и обеспечивают хорошую масштабируемость, а сама система Аспект не вносит существенных задержек и не требует существенных накладных расходов на исполнение фрагментов.

Фрагментация алгоритма может потребовать его существенного изменения, и, следовательно, не может быть выполнена автоматически. Это является платой за хорошие свойства фрагментированных программ.

Литература

1. *Arykov S.B., Malyshkin V.E.* Asynchronous Language and System of Numerical Algorithms Fragmented Programming // LNCS. 2009. Vol. 5698. P. 1–7.
2. *Арыков С.Б.* Асинхронная модель вычислений над общей памятью // Вестник УГАТУ. 2016. Т. 20, № 3. С. 114–121.
3. *Arykov S.* Defining Order of Execution in Aspect Programming Language // LNCS. 2017. Vol. 10421. P. 265–271.
4. *Марченко М.А., Михайлов Г.А.* Весовые алгоритмы статистического моделирования диффузионных процессов // Журн. вычисл. матем. и мат. физики. 2003. Т. 43, № 4. С. 571–584.
5. *Вишнев В.А., Вишнев К.В., Дудникова Г.И.* Алгоритмы решения задачи взаимодействия лазерного импульса с плазмой // Вычислительные технологии. 2001. Т. 6. № 2. С. 47–63.

К АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЙРОНА НА ПЛИС*

В.С. Белых, М.Л. Громов, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
vitalyabelyh@gmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com, nataliamailbox@mail.ru

Нейронные сети применяются человеком в различных сферах [1]. Искусственные нейронные сети применяются в области классификации, распознавания и т.д. Отличительной чертой нейронных сетей является способность к обучению. Нейронную сеть можно реализовать как аппаратно, так и программно. Аппаратная реализация обладает рядом преимуществ над программной, в том числе, по скорости работы, автономности.

В качестве платформы для аппаратной реализации была выбрана плата ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). Данная плата выпускается серийно и имеет невысокую стоимость. ПЛИС предоставляет возможность легкой реконфигурации и наиболее точно передает параллельную архитектуру нейронов.

Прежде чем реализовать нейронную сеть, необходимо разработать структуру одного нейрона [2]. Математически искусственный нейрон обычно представляют как некоторую нелинейную функцию от единственного аргумента – линейной комбинации всех входных сигналов с заданными весовыми коэффициентами. Эту функцию называют функцией активации, или передаточной функцией нейрона. Полученный результат отправляется на единственный выход нейрона. Бывает нескольких типов функции активации. В искусственных нейронных сетях чаще всего используется нелинейная функция активации – сигмоида.

Один из подходов к реализации нейрона на языке VHDL описана в работе [3]. VHDL – язык высокого уровня, при программировании распределение ресурсов ПЛИС происходит автоматически, частично с помощью сторонних инструментов. Например, инструмент fitter [4] размещает логические элементы и физически прокладывает маршрут между элементами. В общем случае такой подход не гарантирует оптимальную реализацию. В данной работе предлагается реализовать нейрон на языке AHDL [5], причем размещение логических элементов и прокладывание маршрутов между элементами осуществлять без сторонних инструментов. Язык AHDL является языком низкого уровня и дает больше контроля, тем самым представляется возможность более экономичного использования ресурсов ПЛИС. Нам известна только одна работа, описывающая такую реализацию нейрона на языке AHDL [6]. При реализации нейрона на AHDL требуется оптимально задавать маршрут от блока к блоку, а также учитывать скорость вычислений различными блоками для обеспечения параллельности, а из [6] неясно, насколько в данной реализации учтены такие моменты.

В нашей работе мы планируем реализовать простейшую нейронную сеть (перцептрон) на двух языках (VHDL и AHDL) и провести эксперименты по сравнению этих реализаций. При реализации на AHDL акцент будет сделан на оптимальное распределение ресурсов ПЛИС. Сравнить реализации планируется как по быстродействию, так и по потреблению ресурсов ПЛИС.

Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е из. / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
2. Neural Network Implementation Using FPGA: Issues and Application / A. Muthuramalingam, S. Himavathi, E. Srinivasan. International Journal of Information and Communication Engineering. 2008. 4:6.
3. Маришаков Д.В., Фатхи Д.В. Модель аппаратной реализации искусственного нейрона на основе цветных временных сетей Петри // Вестник СГТУ. 2011. № 1.
4. URL: <https://marsohod.org/index.php/ourblog/11-blog/265-fpga> (дата обращения: 10.04.2018).
5. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AHDL> (дата обращения: 10.04.2018).
6. URL: http://www.dsol.ru/stud/book7/chapter7/page7_06.html (дата обращения: 10.04.2018).

ПОИСК ПИКОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ НЕСТРОГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

М.Д. Гусельников¹, В.Ю. Комаров^{1,2}, С.Е. Куреев^{1,3}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
dev6573@gmail.com

В современном материаловедении активно развиваются подходы к определению расположения атомов в кристаллах. Методы дифракционного структурного анализа позволяют строить атомные модели кристалличе-

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

ских образцов по экспериментальной дифракционной картине. Напрямую эта задача не решается, т.к. при экспериментальном измерении дифракционной картины теряется часть информации. Поэтому используются итерационные методы решения с применением обратных расчётов. В настоящее время актуальны исследования дефектных структур, для которых необходимо использовать масштабные атомные модели.

В рамках данной проблемы существует задача расчета интенсивности дифракции для заданной модели атомной структуры на области обратного пространства. Распределение интенсивности дифракции имеет сложный вид. Наряду с диффузными областями, связанными с нерегулярностями структуры, могут встречаться острые высокоинтенсивные пики, в пределе (для бесконечного кристалла) стремящиеся к дельта-функции. Следовательно, для масштабных моделей существует проблема поиска координат этих пиков.

В данной работе разрабатывается инструментарий для расчета интенсивности дифракции в выбранной точке обратного пространства и интегральной интенсивности в заданной области для заданной модели атомной структуры. В рамках работы рассматриваются три способа поиска координат пиков интенсивности дифракции:

1) расчет интегральной интенсивности дифракции с использованием приближенного аналитического интегрирования;

2) уменьшение шага прохода по области обратного пространства;

3) искусственное уширение пиков путем проведения расчетов для ограниченных подобластей атомной структуры (нарушение когерентности дифракции).

Планируется провести сравнение эффективности каждого из алгоритмов поиска, учитывая размеры атомной структуры и области обратного пространства. На основании полученных результатов ожидается получить гибридный алгоритм, позволяющий с высокой точностью определить расположение пиков интенсивности дифракции для заданной атомной структуры. Тестирование предполагается провести на строгопериодических и модулированных структурах, для которых известно расположение пиков интенсивности дифракции.

МОДЕРНИЗАЦИЯ PBS TORQUE И MAUI ДЛЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

А.В. Ефимов, К.В. Павский

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
efimov-av@isp.nsc.ru, pkv@isp.nsc.ru

В архитектурном плане распределенные вычислительные системы (ВС) представляют собой композицию множества элементарных машин (ЭМ) и сети связей между ними [1]. Количество ЭМ в современных ВС из списка Top500 может достигать сотен тысяч и нескольких миллионов. Среднее время безотказной работы компонентов ЭМ оценивается как 10^4 – 10^6 ч. Однако, по оценкам экспертов, среднее время между частичными отказами (отказами одного или нескольких компонентов) в ВС такого масштаба будет менее 20 часов [2].

Основным назначением ВС является выполнение параллельных программ пользователей. Важной является задача организации отказоустойчивого выполнения параллельных программ на ВС. Под отказоустойчивостью будем понимать обеспечение заданного уровня производительности. Отказоустойчивость обеспечивается за счет подсистемы избыточных (резервных) ЭМ и периодическом сохранении результатов вычислений в контрольных точках (КТ) [3].

В случае появления отказов в ВС замену вышедших из строя ЭМ на исправные осуществляет диспетчер ресурсов (например, TORQUE, Altair PBS Pro, SLURM и др.). При этом выполнение параллельной программы прерывается, исправные ЭМ освобождаются, а отказавшая ЭМ исключается из рабочей конфигурации ВС. Далее для программы выполняется поиск подсистемы с достаточным количеством ЭМ и восстановление вычислительного процесса из КТ.

В работе рассматриваются ВС со структурной избыточностью, для которых предложены аналитическая модель расчета числа резервных ЭМ [4] и функциональная модель (рис. 1) формирования подсистем резервных ЭМ по запросу пользователей ВС (рис. 2) для определенных параллельных программ.

Особенностью подхода является то, что эффективность функционирования ВС в целом предполагается улучшить за счет (суб)оптимального количества резервных ЭМ и сокращения накладных расходов на поиск подсистемы требуемого размера и восстановление вычислительного процесса.

* Работа выполнена в рамках проекта ГЗ 0306-2018-0012 и при поддержке РФФИ (грант № 16-07-00712).

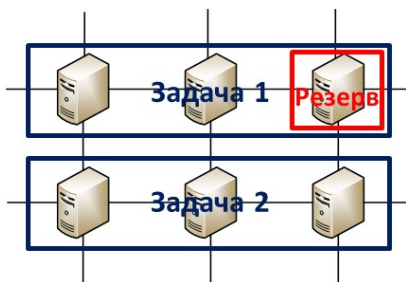


Рис. 1 Модель функционирования ВС с резервом для отдельных задач пользователей

```
$ cat test.job
#PBS -N Job_Name
#PBS -q Batch_Name
#PBS -l nodes=4:ppn=8
#PBS -R redundancy_nodes

cd $PBS_O_WORKDIR
mpiexec ./mpiprogram ...
```

Рис. 2 Пример паспорта задачи с запросом формирования подсистемы с резервом

На основе предложенных моделей выполнена модернизация диспетчера ресурсов PBS TORQUE и планировщика MAUI.

Литература

1. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. М. : МГТУ им. Баумана, 2008. 520 с.
2. *Nikolic S.* High Performance Computing Directions: The Drive to ExaScale Computing // Труды международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2012)». Новосибирск, 2012. URL: <http://pavt.susu.ru/2012/talks/Nikolic.pdf> (дата обращения: 11.01.2018).
3. *Поляков А.Ю.* О восстановлении программ из контрольной точки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». 2010. № 35(211), № 6. С. 91–103.
4. *Хорошевский В.Г., Павский В.А., Павский К.В.* Математическая модель и расчет показателей функционирования вычислительных систем со структурной избыточностью // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 5 (130). С. 37–41.

ОБЗОР СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ РЕШЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЧИСЛЕННЫХ ЗАДАЧ

М.А. Городничев^{1, 2, 3}, С.Е. Киреев^{1, 2}

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
maxim@ssd.sccc.ru, kireev@ssd.sccc.ru

В области разработки программ решения численных задач существует известная проблема отсутствия высокоуровневых средств программирования, которые обеспечивали бы возможность записи программ в тех терминах, в которых алгоритмы описываются в вычислительной математике, при том, что автоматически или автоматизированно обеспечивалась бы реализация таких программ на высокопроизводительных вычислительных системах. Частично эта проблема решается путем использования специализированных программных пакетов численного моделирования. Однако при решении новых задач массовое применение находят только низкоуровневые средства параллельного программирования на основе языков C/C++/Fortran с применением коммуникационных библиотек типа MPI или языков на основе модели PGAS. Вместе с тем, в практике людей, занимающихся разработкой численных программ, можно видеть, что первоначальные функциональные прототипы разрабатываются на относительно высокоуровневых языках типа MATLAB, Mathematica, Python, а уже высокопроизводительные программы для актуальных вычислений переписываются в упомянутых низкоуровневых средствах. При том, что, как видно из практики, проблема в целом не решена, существует много проектов и посвященных им публикаций, которые осуществляют подходы к решению этой проблемы. В связи с этим целесообразной является попытка сформулировать набор требований, при обеспечении которых некоторая система разработки численных программ решала бы обозначенную выше проблему, и осуществить обзор существующих проектов на предмет реализации этих требований.

На основе опыта разработки вычислительных программ и обзора проблем разработки, описанных в литературе, был сформулирован следующий список требований:

- 1) высокий уровень представления алгоритмов – для обеспечения удобства программирования и понимания пользователем, а также упрощения задачи автоматического анализа и преобразования алгоритмов;
- 2) обеспечение заданных свойства исполнения: производительность, настройка на ресурсы, отказоустойчивость, сохранение контрольных точек и т.п.;
- 3) накопление как различных по функциональности алгоритмов, так и различных реализаций алгоритмов с целью их переиспользования при решении новых задач;

4) автоматический или автоматизированный выбор алгоритмов и реализаций для решения поставленных задач в данном системном окружении.

Выполненный обзор включает множество работ, ставящих задачей обеспечить одно или несколько из рассматриваемых требований, однако пока не было найдено систем, которые обеспечивали бы их все. В наиболее общем виде проблема ставится в [1] как проблема разработки систем представления и использования знаний в активной форме. В рамках такой постановки предлагается система программирования LuNA как технологическая основа для накопления и реализации численных алгоритмов. LuNA в настоящее время предоставляет пользователю язык для записи численных алгоритмов в машинно-независимой форме и обеспечивает выполнение таких алгоритмов на системах с общей памятью, на распределенных системах и системах с ускорителями GPU. В то время как избранный подход, видимо, потенциально позволяет удовлетворить требованиям 2–4, реализация их на практике в полном объеме – вопрос дальнейших исследований. При этом решение части проблем может быть заимствовано из других рассмотренных в обзоре работ. Что касается требования 1, то язык LuNA является языком представления численных алгоритмов в специальном т.н. фрагментированном виде. Для прикладного специалиста требуется средство более высокого уровня, которое позволит исключить из программирования реализационные детали и при этом даст возможность пользователю выразить в языке имеющуюся у него информацию о структуре прикладных алгоритмов.

Литература

1. *Victor Malyskin. Active Knowledge, LuNA and Literacy for Oncoming Centuries // Programming Languages with Applications to Biology and Security. LNCS. 2015. Vol. 9465. P. 292–303.*
2. *Куреев С.Е. Особенности использования системы LuNA на примере реализации PIC-метода // Тезисы докладов Летней международной XXIX молодежной школы-конференции по параллельному программированию (г. Новосибирск, 10–14 июля 2017 г.). Новосибирск : Наука, 2017. С. 22–25.*

ДЕШИФРАЦИЯ СИНДРОМА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С УЧИТЕЛЕМ*

К.Е. Крамаренко, М.Г. Курносков

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия
kostya.kram@gmail.com, mkurnosov@gmail.com

При функционировании большемасштабных высокопроизводительных вычислительных системы (ВС) отказы программно-аппаратных ресурсов неизбежны. Под отказом понимается событие, при котором ВС теряет способность выполнять функции, связанные с реализацией параллельной программы на ней [1]. По предварительным оценкам среднее время наработки на отказ в перспективных экзафлопсных ВС будет составлять несколько десятков минут [2]. Для обеспечения эффективного функционирования ВС требуется разработка моделей и методов контроля и диагностики ВС. Контроль предназначен для установления факта работоспособности или неработоспособности вычислительных ресурсов ВС, в частности, элементарных машин (ЭМ, вычислительных узлов). А диагностика обнаруживает отказавшие ресурсы, локализует неисправные ЭМ. Процесс диагностирования включает два этапа.

1. Сбор результатов взаимопроверок работоспособности ЭМ и формирование синдрома ВС.
2. Дешифрация синдрома с целью получения вектора состояния узлов.

В стеке системного программного обеспечения современных ВС контрольно-диагностические процедуры реализуются на уровне подсистем управления ресурсами и на уровне систем параллельного программирования. В распространенных системах управления ресурсами SLURM, TORQUE контрольно-диагностические процедуры реализованы в виде централизованных алгоритмов на уровне вычислительных узлов, а в системах параллельного программирования и библиотеках стандарта MPI (Open MPI ULMF, Fenix) объектами контроля и диагностики являются процессы параллельной программы. Существующие алгоритмы диагностики ВС можно разделить на централизованные и децентрализованные [4-9]. Значительная часть существующих методов основаны на диагностической модели РМС (Preparata – Metzger – Chien) [3].

Для решения задачи классификации состояний ЭМ предложен алгоритм на основе метода случайного леса (random forest).

На первом этапе осуществляется обучение классификатора на обучающей выборке, состоящей из синдромов ВС для которых известны состояния ЭМ. Результатом обучения является ансамбль (лес) из деревьев принятия решений (decision tree).

На втором этапе метод готов к решению задачи классификации и по заданному синдрому ВС строит вектор состояний ЭМ.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-07-00624, № 16-07-00712).

Выполнена программная реализация алгоритма на языке python с применением библиотеки scikit-learn.

Литература

1. *Хорошевский В.Г.* Распределённые вычислительные системы с программируемой структурой // Вестник СибГУТИ. 2010. № 2. С. 3–41.
2. *Kogge P. et al.* ExaScale computing study: Technology challenges in achieving exascale systems / Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) Information Processing Techniques Office (IPTO), Tech. Rep., 2008. URL: http://mrichards.ece.gatech.edu/wp-content/uploads/sites/462/2016/08/exascale_final_report_100208.pdf.
3. *Preparata F.P., Metzger G., Chien R.T.* On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems // IEEE Trans. Electron. Comput. 1967. № 6. P. 848–854.
4. *Breiman L.* Random forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32.
5. *Димитриев Ю.К.* Децентрализованные алгоритмы самодиагностики с ремонтом для модульных вычислительных систем с произвольной структурой // Электронное моделирование. 1988. С. 26–30.
6. *Лобанов А.В., Сиренко В.Г.* Распределённые методы системного диагностирования многомашинных вычислительных систем // Автомат. и телемех. 2000. № 8. С. 165–172.
7. *Пархоменко П.П.* Определение технического состояния многопроцессорных вычислительных систем путем анализа графа синдромов // Автомат. и телемех. 1999. № 5. С. 126–134.
8. *Радойчевски В.Ц., Шалаев А.Я.* Параллельная диагностируемость модульных систем при децентрализованной дешифрации синдрома // Электронное моделирование. 1992. С. 57–63.
9. *Elhadef M., Nayak A.* Comparison-Based System-Level Fault Diagnosis: A Neural Network Approach // IEEE Trans. on Parallel Distrib. Syst. 2012. Vol. 23. P. 1047–1059.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ МАШИН В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ СВЯЗИ*

Е.Н. Перышкова, М.Г. Курносков

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия
e.peryshkova@gmail.com, mkurnosov@gmail.com

Одним из важнейших архитектурных свойств современных вычислительных систем (ВС) с распределенной памятью является глубокая иерархия средств доступа к оперативной памяти процессорных ядер. Коммуникационные сети большинства высокопроизводительных систем списка Top500 имеют как минимум двухуровневую организацию. Первый уровень – коммуникационная сеть связи между элементарными машинами (ЭМ, вычислительными узлами): Cray Gemini [1], IBM PERCS, Fujitsu Tofu [2], Gigabit Ethernet, InfiniBand; второй уровень – оперативная память, разделяемая процессорными ядрами одной ЭМ. Если принять во внимание использование коммуникационных сетей на базе составных коммутаторов (например, топология fat tree) [3], а также наличие внутрисистемных шин для объединения процессоров в ЭМ с архитектурой NUMA, то количество уровней в иерархической структуре увеличивается. В частности, в системе Sunway TaihuLight пять уровней в коммуникационной среде: оперативная память ядра – Network on Chip – Sunway network – Supernode network – Switch network.

Основное назначение коммуникационной сети – реализация передачи сообщений между процессами параллельных программ. Доминирующее положение занимает стандарт MPI и библиотеки, реализующие его (MPICH, MVAPICH, Open MPI). Топологии коммуникационных сетей используемых в ВС по технико-экономическим причинам не являются полносвязными, поэтому при реализации параллельными программами глобальных схем информационным обменам возникает одновременное совместное использование каналов связи (network contention). Следствием, этого является образование очередей передачи сообщений в сетевых адаптерах, сетевых коммутаторах и падение производительности коммуникационной сети [4].

В данной работе выполнена реализация тестовых программ для оценки времени передачи сообщений при разделении каналов связи на уровне стандарта MPI. Проведен экспериментальный анализ падения производительности коммуникационной сети при образовании очередей передачи сообщений для вычислительных систем с SMP/NUMA-архитектурой вычислительных узлов. Рассмотрено три уровня коммуникационной среды: оперативная память одной ЭМ, внутрисистемная шина, объединяющая процессоры в ЭМ с архитектурой NUMA, сеть связи между ЭМ (InfiniBand и Gigabit Ethernet).

В системах управления ресурсами ВС возникает задача формирования подсистемы из p процессорных ядер. В ВС на базе многопроцессорных узлов данная задача имеет множество решений. Например, симметричная подсистема ранга 8 может быть сформирована тремя способами: 1 вычислительный узел с 8 процессорными ядрами (1x8), два узла по 4 ядра (2x4) и четыре узла по 2 ядра (4x2). Время выполнения глобальных комму-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-07-00624, № 16-07-00712).

никационных операций на этих подсистемах будет различным. Поэтому практический интерес представляет разработка алгоритмов формирования подсистем ЭМ, учитывающих структуру информационных обменов целевой программы. Для операции All-to-all выполнено экспериментальное исследование влияние конфигурации подсистемы ЭМ на время выполнения операции. Выбор операции All-to-all обусловлен ее широким распространением в популярных пакетах суперкомпьютерного моделирования. Разработана тестовая программа для оценки времени выполнения коллективной операции All-to-all при различных начальных распределениях процессов по процессорным ядрам ЭМ. Проведено исследование зависимости времени выполнения операции All-to-all от размера передаваемых сообщений и количества процессов, одновременно разделяющих канал связи. Разработана система прогнозирования времени выполнения операции All-to-all на заданной подсистеме ЭМ по результатам предварительной экспериментальной оценки падения производительности операций MPI_Send/MPI_Recv при одновременном использовании канала связи множеством процессов. Полученные результаты будут использованы для разработки структурно-ориентированных алгоритмов формирования подсистем ЭМ.

Литература

1. Alverson R., Roweth D., Kaplan L. The Gemini System Interconnect // Proc. 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects. Washington, DC : IEEE Press, 2010. P. 83–87.
2. Ajima Y., Inoue T., Hiramoto S., Shimizu T., Takagi Y. The Tofu Interconnect // IEEE Micro. 2012. Vol. 1, № 32. P. 21–31.
3. Корнеев В.В. Вычислительные системы. М. : Гелиос АРВ, 2004. 512 с.
4. Luiz Angelo Steffemel Modeling Network Contention Effects on All-to-All Operations. IEEE Press, 2006.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ ДЕКОДЕРОВ БЧХ-КОДА С ПАРАМЕТРАМИ (15,7,5) НА ПЛИС

С.Е. Рыжова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
r.svet93@yandex.ru

При передаче информации есть вероятность возникновения в ней ошибок. Для обнаружения и исправления подобных ошибок повсеместно используются помехоустойчивые коды. Одним из наиболее эффективных способов повышения стабильности сигнала является использование кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема, обнаруживающих независимые ошибки. Данные коды относятся к классу циклических, что позволяет применять к ним циклический метод декодирования [1].

Циклический метод декодирования включает в себя следующие этапы:

1. Деление входной кодовой комбинации на образующий полином и получение остатка от деления.
2. Проверка условия, что вес остатка должен быть меньше или равен количеству исправляемых декодером ошибок ($W \leq t$).
3. Если условие не выполняется, то производится циклический сдвиг кодовой комбинации на 1 бит влево и возвращение на пункт 1, иначе – пункт 4.
4. Если условие выполняется – производится суммирование кодового слова и остатка, из чего получается исправленная кодовая комбинация.
5. Если кодовая комбинация была циклически сдвинута влево, то необходимо исправленную комбинацию сдвинуть циклически вправо на то же количество бит.

Данный алгоритм был реализован на ПЛИС с использованием линейного регистра обратной связи (ЛПРОС), который обеспечивает процесс деления. В таблице 1 представлены основные параметры различных реализаций циклического метода декодирования на примере БЧХ-кода(15,7,5) на ПЛИС семейства Altera Cyclone III [2,3]. Реализованные устройства работают на частоте 25 МГц.

Таблица 1

Сводная таблица параметров различных реализаций декодера БЧХ-кода (15,7,5)

№	Тип реализации	Время работы	Logic Cells
1	ЛПРОС	16 мкс (651 такт)	195 (4%)
2	ЛПРОС/15	1,2 мкс (47 тактов)	1768 (34%)
3	Матричный синхронный	475 нс (19 тактов)	1540 (30%)
4	Матричный асинхронный	18 нс (0,72 такта)	446 (9%)

Первая реализация (№ 1) имеет прямую последовательную структуру выполнения алгоритма. Как видно из таблицы она имеет наибольшее время работы, но при этом используется наименьшее количество ресурсов ПЛИС. Далее был реализован декодер (№ 2), в котором промежуточные вычисления (пункты 1–4 алгоритма)

распараллелены. Реализовано по 15 (n – длина входной кодовой комбинации равна 15) вычислительных блоков для вычисления остатков от деления и подсчета весов. Время работы такого устройства составляет 1,2 мкс. Поскольку дальнейшее уменьшение времени работы путем распараллеливания процессов невозможно, необходимо модифицировать процедуру деления, которая выполняется дольше всех. Для этого реализация ЛРОС была заменена на матричный алгоритм деления полиномов, при котором можно проводить процедуру деления за 1 такт. На рис. 1 представлена схема для реализации ЛРОС.

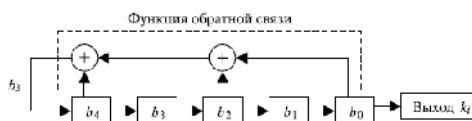


Рис. 1. Схема реализации ЛРОС

Благодаря использованию матричного алгоритма деления, существует возможность уменьшения времени работы устройства до 475 нс (№ 3). Реализация № 4 включает в себя возможности реализации на ПЛИС без использования элементов памяти, что позволяет увеличить быстродействие декодера.

В результате можно отметить, что существует возможность увеличения быстродействия устройства до 1000 раз. Однако данное ускорение будет получено не столько распараллеливанием промежуточных процессов, сколько модификацией наиболее длинного и трудоемкого этапа декодирования.

Литература

1. Морелос-Срагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М. : Техносфера, 2005. 320 с.
2. Поляков А.К. Языки VHDL И VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. М. : Солон-Пресс, 2003.
3. Харрис Д.М., Харрис С.Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. 2-е изд. М.: Morgan Kaufman, 2013. 1662 с.

РАСЧЕТ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ*

А.А. Семенов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
sw.semenov@gmail.com

Нелинейная теория оболочек развивается с начала XX века, и продолжает интенсивно совершенствоваться – тонкостенные оболочки представляют собой широкий класс конструкций, которые могут быть задействованы в самых разных инженерных задачах [1]. Развитие вычислительной техники в последние годы позволило по-новому взглянуть на нелинейные проблемы оболочек [2]. Притом, детальное комплексное исследование прочности, устойчивости и нелинейных колебаний оболочечных конструкций требует разработки узкоспециализированного высокопроизводительного программного обеспечения.

В основе любой расчетной программы закладывается математическая модель, которая в определенных пределах и с некоторой точностью описывает поведение объекта. Будем рассматривать математическую модель деформирования оболочечной конструкции, основанную на соотношениях Тимошенко-Рейснера, учитывающую геометрическую нелинейность, ортотропию материала, поперечные сдвиги, наличие подкрепляющих ребер с учетом их сдвиговой и крутильной жесткости.

В основе данной модели лежит функционал полной энергии деформации – это обусловлено тем, что в отличие от использования уравнений равновесия, в функционале порядок производных искомых функций в два раза ниже, что существенно упрощает задачу и позволяет применять более эффективные алгоритмы.

В случае статического нагружения, к функционалу применяется метод Ритца для сведения вариационной задачи о минимуме функционала к системе нелинейных алгебраических уравнений. Наиболее оптимальным для ее решения в данном случае является метод продолжения решения по наилучшему параметру [3], так как он сводит решение нелинейной задачи к последовательности решения линейных задач и позволяет находить верхние и нижние критические нагрузки, точки бифуркации; исследовать закритическое поведение конструкции. По сравнению с другими методами продолжения решения, этот метод не требует смены параметра продолжения при обходе особых точек.

В случае динамического нагружения алгоритм строится на основе методов Л. В. Канторовича (для сведения системы дифференциальных уравнений для функций трех переменных к системе ОДУ относительно функций только одной переменной t) и метода Розенброка (для численного решения жестких систем ОДУ).

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 18-19-00474.

Для реализации данных алгоритмов предлагается использовать математическую среду Maple 2017, так как по сравнению с другими математическими средами она обладает большим набором инструментов для реализации символьных вычислений.

При использовании Maple 2017 нет необходимости проводить громоздкую и трудоемкую предварительную работу по выводу коэффициентов СНАУ и их дальнейшему программированию. Кроме того, выполнение этих действий вручную существенно повышает вероятность допущения ошибки. Современные технологии позволяют хранить в памяти ЭВМ огромные символьные выражения и проводить над ними аналитические преобразования (например, дифференцирование, интегрирование, подстановка и др.)

Процесс решения описанной выше задачи требует достаточно большой вычислительной мощности, и для комплексного исследования одного варианта конструкции может потребоваться достаточно много машинного времени. Maple 2017 позволяет осуществлять распараллеливание вычислительных процессов и распределять нагрузку на несколько потоков. Также для оптимизации процесса вычислений применяется адаптивный выбор сетки, что позволяет достичь достаточной точности вблизи особых точек кривой решений, и в то же время быстро проходить ровные участки кривой.

Сложные вычислительные задачи, требующие обработки большого количества данных, вместо «централизованной обработки данных» на центральном процессоре теперь часто решаются посредством «совместной обработки» на CPU и GPU. Для реализации такого подхода компания NVIDIA разработала архитектуру параллельных вычислений CUDA.

Среда аналитических вычислений Maple 2017 позволяет распараллеливать с помощью технологии CUDA только некоторые команды, и, в основном, те, которые связаны с выполнением действий над матрицами. Таким образом, распараллеливанию подлежит большинство команд, имеющихся в библиотеке LinearAlgebra.

Литература

1. *Obodan N.I., Lebedev O.G., Gromov V.A.* Nonlinear Behaviour and Stability of Thin-Walled Shells. Dordrecht : Springer Netherlands, 2013. Vol. 199. 178 p.
2. *Атисков А.Ю., Баранова Д.А., Карпов В.В., Москаленко Л.П., Семенов А.А.* Компьютерные технологии расчета оболочек. СПб. : СПбГАСУ, 2012. 184 с.
3. *Кузнецов Е.Б.* О наилучшей параметризации // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2008. Т. 48, № 12. С. 2129–2140.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА МАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ГИБРИДНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

А.И. Титов¹, В.Ю. Комаров^{1,2}, С.Е. Куреев^{1,3}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

В современном материаловедении актуален дизайн материалов, в частности, гибридных и дефектных кристаллических структур, на атомном уровне. Одним из этапов дизайна является генерация моделей из заданных структурных блоков и расчет их свойств. Для оценки адекватности полученных моделей физической задаче необходимо построение атомных моделей размером до 100 нм (порядка 100 миллионов атомов). В таких случаях требуется проведение большого объема вычислений. Для решения этих задач требуется разработка эффективных алгоритмов и использование параллельных вычислений.

Ранее нами было разработано ПО для построения и анализа масштабных моделей атомных структур. Для ряда анализов (анализ межатомных расстояний, координационных чисел, суммы валентных усилий) сложность вычислений квадратична относительно количества атомов в структурной модели, что ставит сильные ограничения на масштаб исследуемых моделей. Целью работы является алгоритмическая оптимизация с понижением сложности вычислений.

Поскольку все рассматриваемые нами анализы масштабных атомных структур рассматривают пары близко лежащих атомов, сложность вычислений можно снизить до линейной. Это можно достичь путем разбиения структуры на пространственно-упорядоченные группы. Разбиение позволяет рассматривать пары только в диапазоне, заданном границами групп, организующими окрестность атома кристаллической структуры.

ПО реализовано на языке C++, распараллеливание было произведено с помощью OpenMP. В планах на будущее выделяются: расширение функциональности генерации и анализа.

ПОДСИСТЕМА ИМПЕРАТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ LUNA-FRAMEWORK

В.А. Перепёлкин, А.А. Ткачёва

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
perpelkin@ssd.sccc.ru, tkacheva@ssd.sccc.ru

Разработка параллельных программ, реализующих численные алгоритмы для крупномасштабных расчетов на вычислительных кластерах, является сложной задачей для неспециалистов в системном параллельном программировании, к которым, как правило, и относятся пользователи вычислительных кластеров. Эта сложность обусловлена необходимостью обеспечивать высокую эффективность исполнения параллельной программы, что требует от программы способности настраиваться на доступные вычислительные ресурсы (количество вычислительных узлов, объемы памяти, особенности топологии сети, неоднородность ресурсов) и учитывать динамику вычислительного процесса (см., например, [1]). Разработка и отладка такой программы требует навыков системного параллельного программирования. Как следствие, актуальна разработка систем и языков параллельного программирования, позволяющих снизить требования к квалификации прикладного программиста и повысить качество разрабатываемых программ, что подтверждается активной проработкой данной проблемы мировым научным сообществом (см., например, [Charm++[2], ParSEC[3], SMP Superscalar[4], SISAL[5], Parallel Haskell[6], DVM[7]). Одна из таких систем – LuNA [8], разрабатываемая в ИВМиМГ СО РАН. Для обеспечения требуемых свойств параллельной программы в этой системе вычислительный алгоритм представляется в виде множества информационно-связанных подзадач без побочных эффектов (фрагментов), которые динамически распределяются системой по доступным вычислительным ресурсам. Преимуществом такого подхода является возможность автоматического или автоматизированного отображения алгоритма на доступные вычислительные ресурсы и простота разработки и отладки программы, но во время исполнения программы существенная часть ресурсов и времени тратится на работу исполнительной системы (ИС) по анализу ситуации и планированию вычислений, отслеживанию готовности данных по информационным зависимостям и т.п., что приводит к относительно низкой производительности программы. Для уменьшения этих накладных расходов целесообразно статически принимать часть решений об отображении фрагментов на ресурсы и порядке их исполнения. В системе LuNA для поддержки такого подхода была разработана исполнительная подсистема, замещающая основную ИС и называемая LuNA-Framework (LuNAFW). В отличие от базовой исполнительной системы она не принимает решений о способе исполнения множества фрагментов, а принимает готовые решения через API от подключаемого модуля управления. Этот модуль разрабатывается вручную или генерируется автоматически или полуавтоматически. LuNAFW использует event-driven модель вычислений (в то время как ИС LuNA – dataflow модель). Исполнение же фрагментов в LuNAFW осуществляется тем же способом, что и в ИС LuNA, что позволяет использовать вспомогательные инструменты, такие как профилировщик, к программам, исполняемым в LuNAFW. В рамках работы было проведено испытательное тестирование подсистемы LuNAFW на ряде численных задач. Тестирование показало значительное увеличение производительности по сравнению с базовой ИС LuNA, в ряде случаев сравнимое с производительностью MPI-программ, разработанных вручную.

Литература

1. Kraeva, M.A., Malyshkin, V.E. Assembly Technology for Parallel Realization of Numerical Models on MIMD-Multicomputers // J. Future Generation Computer Systems. 2001. Vol. 17, №. 6. P. 755–765.
2. Kale L.V., Krishnan S. CHARM++: a portable concurrent object oriented system based on C++ // In Proc. of OOPSLA 93. ACM, New York, 1993. P. 91–108.
3. Bosilca G., Bouetiller A. et al. DAGuE: A Generic Distributed DAG Engine for High Performance Computing // In Proc. IPDPS 2011 Workshops. 2011. P. 1151–1158.
4. Perez J.M., Badia R.M., Labarta J. A flexible and portable programming model for SMP and multi-cores // Technical report 03/2007. Barcelona Supercomputing Center, 2007.
5. Kasyanov V., Stasenko A. Sisal 3.2 language structures decomposition // Lecture Notes in Electrical Engineering. Berlin : Springer-Verlag, 2009. Vol. 28. P. 582–594.
6. Coutts D., Loeh A. Deterministic parallel programming with Haskell // Computing in Science and Engineering. 2012. Vol. 6, № 14. P. 36–43.
7. Konovalov N.A., Krukov V.A., Mikhajlov S.N., Pogrebtsov A.A. Fortan DVM: a language for portable parallel program development // Program. Comput. Softw. 1995. Vol. 1, № 21. P. 35–38.
8. Malyshkin V.E., Perpelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // In: PaCT 2011 proceedings, Lecture Notes in Computer Science. Berlin : Springer, Heidelberg, 2011. Vol. 6873. P. 53–61.

СПОСОБ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОГО КОГЕРЕНТНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ЛИДАРА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ*

А.М. Шерстобитов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
shrarm@gmail.com

Одним из наиболее эффективных инструментов измерения скорости ветра и параметров ветровой турбулентности является оптоволоконный импульсный когерентный доплеровский лидар (ИКДЛ). Основное преимущество такого лидара заключается в высоком пространственно-временном разрешении, по сравнению с ИКДЛ других типов. Пример такого лидара можно найти в [1].

Существует ряд работ, посвященных методам обработки лидарных сигналов ИКДЛ, в частности, монография [2]. Однако для конкретного оптоволоконного ИКДЛ требуется создание программного обеспечения для обработки лидарных сигналов в режиме реального времени.

В настоящей работе предлагается способ обработки сигналов оптоволоконного ИКДЛ, созданного в ИОА СО РАН, в режиме реального времени, основанный на соотношениях, полученных в [2]. Способ реализован на программируемой логической матрице STRATIX IV в среде Quartus II. В отличие от [3], предложенный способ не использует Altera IP-ядра, связанные между собой шиной Avalon, а реализован на открытых конвейерных алгоритмах, в основе которых лежит конвейерное преобразование Фурье [4]. Для проверки работоспособности предложенного способа проведена симуляция в среде ModelSim-Altera. Выполнены эксперименты по зондированию атмосферы с ИКДЛ, созданным в ИОА СО РАН. Показано, что данный способ позволяет восстанавливать профили радиальной скорости ветра до расстояния 1500 м от лидара (см. рис. 1).

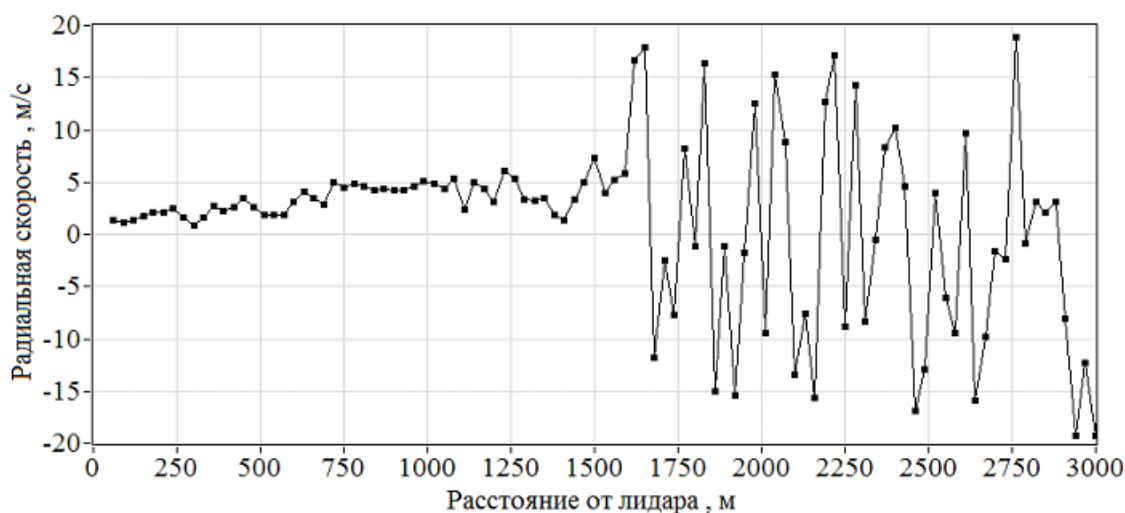


Рис. 1. Радиальная скорость ветра. Данные корректны до расстояния 1500 м

Литература

1. *Kameyama S., Ando T., Asaka K., Hirano Y., Wadaka S.* Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system // APPLIED OPTICS. 2007. V. 46, № 11. P. 1953–1962.
2. *Банах В.А., Смалихо И.Н.* Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск : ИОА СО РАН, 2013 304 с.
3. *Weibiao C., Yoncheng Z., Jiqiao L.* All-optical-fiber coherent Doppler wind lidar signal processing device. Патент КНР № 102043144 В. Заявитель Shanghai Inst Optics & Fine Me. Действует с 2 января 2013 г.
4. Генератор конвейерного преобразования Фурье на языке Verilog HDL. URL <http://www.spiral.net/hardware/dftgen.html>

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП соглашение № 14.607.21.0151.

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДВУМЕРНЫХ ДАННЫХ

О.В. Климова

Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия
Институт радиоэлектроники и информационных технологий УрФУ, Екатеринбург, Россия
ovk31@mail.ru

Представляемые результаты выполненных исследований направлены на решение проблемы повышения эффективности параллельной обработки двумерных данных. В частности, полученные результаты формируют основу для реализации совместных исследований алгоритмов и архитектур, этапа, являющегося неотъемлемой частью процесса современного проектирования [1, 2] высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных устройств. Необходимость такого этапа обусловлена изменениями, которые произошли в отношениях между алгоритмом и архитектурой при переходе к параллельной обработке, а его использование позволяет решить проблему обоснованного выбора варианта организации вычислений, впервые сформулированную в работе [3], и по сей день ожидающую требуемых формальных решений, сложность поиска которых подчеркивалась во многих работах [4-7]. Автором доклада в работе [8] был представлен общий путь формирования таких решений для операций цифровой обработки сигналов (ЦОС), основанный на предложенном декомпозиционном подходе.

В данном докладе показывается, как изучение с помощью этого подхода внутренней структуры вычислительных операций обработки двумерных данных (двумерных свертки и корреляции, двумерного дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и других структурно подобных им операций) привело к построению их композиционных форм, выявляющих внутренний параллелизм исследуемых операций и предназначенных для представления параллельных вычислений. Полученные композиционные формы характеризуются параметризацией внутренней пространственно-временной структуры указанных вычислительных операций, выявляющей независимые друг от друга последовательности вычислительных действий и устанавливающей правила координации между результатами этих действий. Поэтому полученные композиционные формы, являясь независимыми от какой-либо архитектурной платформы, предназначенной для реализации вычислений, представляют собой формальный инструмент, изначально ориентированный на описание организации параллельных вычислений и позволяющий выполнять согласование алгоритмических и архитектурных параметров на стадии выбора алгоритма их реализации. Полученный инструмент отвечает требованиям параллельной обработки, характеризующимся необходимостью наличия этапа взаимонастройки алгоритмов и архитектур, позволяющего повысить эффективность параллельных вычислений. Таким образом, полученные композиционные формы обеспечивают возможность реализации этого этапа, позволяющего изменять значения алгоритмических и архитектурных параметров на стадии выбора варианта организации вычислений. Подытоживая вышесказанное, можно отметить, что полученные композиционные формы способны описать те вышеуказанные изменения, которые произошли в отношениях между алгоритмом и архитектурами в связи с использованием параллельного принципа обработки данных. Эта способность базируется на использовании декомпозиционного подхода к построению композиционных форм, полученных в результате изменения эквивалентных им исходных форм представления операций и данных. Таким образом, использование декомпозиционного подхода позволило выполнить изменения этих форм, обеспечивающие возможность поднятия отношений между алгоритмом и архитектурой на более высокий уровень абстракции.

Литература

1. Lee G.G., Chen Y.K., Mattavelli M., Jang E.S. Algorithm/Architecture Co-Exploration of Visual Computing: Overview and Future Perspectives // IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. 2009. Vol. 19, №. 11. P. 1576–1587.
2. Gwo Giun (Chris) Lee, He-Yuan Lin, Chun-Fu Chen, and Tsung-Yuan Huang Quantifying Intrinsic Parallelism Using Linear Algebra for Algorithm/Architecture Coexploration // IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems. 2012. Vol. 23, №. 5. P. 944–957.
3. Марчук Г.И., Котов В.Е. Проблемы вычислительной техники и фундаментальные исследования // Автоматика и вычислительная техника. 1979. № 2. С. 3–14.
4. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. М. : Изд-во МГУ, 2006.
5. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб. : БХВ Петербург, 2002.
6. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. М. : Мир, 1991.
7. Edward A. Lee The Problem with Threads // IEEE Computer. 2006. Vol. 39, №. 5. P. 33–42.
8. Климова О.В. Методология декомпозиции данных и единое описание последовательных и параллельных алгоритмов вычисления операций цифровой обработки сигналов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. Т. 23, № 2. С. 112–120.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ СЕТИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО*

Д.А. Мигов, Д.В. Винс

Институт Вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
mdinka@rav.sccc.ru, snak-e@yandex.ru

В работе рассматривается NP-трудная задача расчёта надёжности сети, элементы которой подвержены случайным отказам. Предлагается высокомасштабируемый метод для оценки различных показателей надёжности сетей. Имитационное моделирование позволило оптимально настроить параметры алгоритма, повысить масштабируемость алгоритма, сделав возможным его применение для приближённого расчёта надёжности сетей на суперЭВМ большой производительности (пета- и эксафлопсные).

Универсальным методом для оценки сетевой надёжности является метод Монте-Карло, в том числе и в параллельной реализации [1,2]. Для исследования эффективности исходного алгоритма при его исполнении на потенциальном эксафлопсном суперкомпьютере применяется имитационное моделирование на основе мультиагентного подхода. При имитационном моделировании с использованием платформы мультиагентного моделирования AGNES предполагалось, что архитектура эксафлопсного суперкомпьютера не отличается от архитектуры кластера НКС-30Т. В вычислительных экспериментах как показатель надёжности рассматривается вероятность связности случайного графа, однако предложенная модель позволяет осуществлять моделирование расчёта и для других показателей сетевой надёжности.

В результате выявлено, что алгоритм идеально масштабируется до 512 000 вычислительных ядер, далее возникает уменьшение эффекта ускорения от количества ядер. Решением в данном случае может быть увеличение количества агентов «сборщиков» и их иерархическая организация.

Литература

1. Марченко, М.А. Комплекс программ MONC для распределенных вычислений методом Монте-Карло // Сиб. журн. вычисл. матем. 2004. Т. 7, № 1. С. 43–55.
2. Мигов Д.А. Параллельные методы точного и приближенного расчёта надёжности сетей // Труды Межд. конференции «Молодежь. Наука. Технологии» (МНТК-2017). Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. Ч. 3. С. 67–69.

ОДНОРОДНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ: ОСНОВЫ КОДИЗАЙНА И МЕТРИКИ СЛОЖНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Н.А. Лукин

Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
nicklookin@mail.ru

Однородные вычислительные среды (ОВС) в течение многих лет вызывают интерес исследователей и разработчиков высокопроизводительной вычислительной техники [1]. В то же время специфика архитектуры ОВС сдерживает применение традиционных технологий для программирования [2]. Основными причинами являются: 1). однородность структуры вычислительного ядра ОВС, представляющая собой 2D-решетку, в узлах которой размещены локально связанные между собой процессорные элементы (ПЭ); 2). децентрализация памяти программ и данных.

Создание технологии программирования ОВС требует решения ряда проблем согласования алгоритмов с процессорной архитектурой. Общая модель такого согласования: $P : \{G_A\} \Rightarrow \{G_{HCE}\}$, где G_A – граф алгоритма A (модель), G_{HCE} – граф ОВС, представляющий собой двумерную решетку ПЭ (структура). В результате, в каждом ПЭ активируется и выполняется только одна инструкция (команда) и один вариант передачи данных. Граф G_{HCE} становится размеченным – $(G_{HCE})_{mark}$, при этом отображение P является не однозначным [3]. В результате, имеем реализацию алгоритма A с помощью $(G_{HCE})_{mark}$.

Граф $(G_{HCE})_{mark}$ является проектом конкретного специализированного процессора, который реализует конкретный алгоритм A . Несмотря на разметку G_{HCE} , структура этого ФОП остается однородной (идентичность ПЭ и одинаковость топологии соединений), поэтому будем называть рассматриваемый объект **ОВС-ФОП**.

В процессе проектирования производится одновременный синтез алгоритмических графов и генерация соответствующих локально связанных двумерных массивов ПЭ, что составляет основу **кодизайна ОВС-ФОП**. В данной работе излагаются основные принципы кодизайна ОВС-ФОП для варианта СБИС-реализации.

* Работа частично поддержана РФФИ. Коды проектов № 16-07-00434, 18-07-00460.

Широко применяемые метрики сложности вычислений – алгоритмическая либо емкостная сложность [4] – претерпевают существенные изменения в случае ОВС. Основной причиной этого является влияние топологии межсоединений в массивах ПЭ как на время вычисления, так и на количество ПЭ. Например, наличие пересечений дуг в графе G_A может значительно увеличивать время реализации алгоритмов с помощью ОВС.

В данной работе вводятся и обсуждаются следующие метрики сложности вычислений:

- **Аппаратная сложность вычислений L_H** . Это верхняя оценка числа ПЭ, которое требуется для реализации алгоритма A .

- **Временная сложность вычислений L_T** . Это верхняя оценка числа тактов работы ОВС, необходимое для реализации алгоритма. В работе обсуждаются две модификации оценок временной сложности вычислений – автономная временная сложность L_{Ta} (однократная обработка данных) и конвейерная временная сложность L_{Tc} (многократная обработка данных).

- **Коммуникационная сложность вычислений L_C** . Это верхняя оценка накладных расходов на реализацию алгоритма, обусловленных отличием графа G_A от решетчатого. Коммуникационная сложность непосредственно связана с характеристиками графа G_A . Поэтому на начальном этапе кодизайна ОВС-ФОП необходимы эквивалентные преобразования G_A с целью уменьшения L_C .

В работе кратко обсуждается практическая реализация кодизайна ОВС-ФОП на основе модельно-ориентированного проектирования [5] и облачных технологий программирования и управления системами. Это позволяет реализовать распределенную обработку данных на основе ОВС-ФОП как аппаратного базиса мобильных систем IoT.

Литература

1. Syed S. Ameer Abbas and others. Realization of systolic array design for earthquake detection // 2017 International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS). P. 1–6.
2. Butts M. Dynamically reconfigurable Massively Parallel Processor Arrays in high-performance embedded military systems // Signal Processing Design. URL: <http://signal-processing.mil-embedded.com/articles/dynamically-embedded-military-systems>.
3. Морозова В.Д. Введение в анализ. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. 408 с.
4. Джон Э. Сэвидж. Сложность вычислений. М. : Факториал, 1998. 368 с.
5. Bruce Lewis, Peter Feiler and others. Model Based System Development Using the Architecture Analysis and Design Language//USC-CSE Executive Workshop on Model-Driven Architecture USC Campus, Los Angeles March 16-18, 2005. URL: <http://csse.usc.edu/events/2005/arr/proceedings/presentations/MDAPresentations/Lewis.pdf>.

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ КО-ДИЗАЙН ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕД

А.Ю. Филимонов, В.Н. Тришин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия
a.filimonov@urfu.ru, 3ff@inbox.ru

Очередная технологическая революция и проникновение информационных технологий во все сферы деятельности человека, появление интернет-вещей, возрастающие потоки данных увеличивают потребность в высокопроизводительных и надежных вычислителях. Технологичность однородных вычислительных сред (ОВС) открывает широкие перспективы использования функционально-ориентированных процессоров (ФОП) на их основе в различных мобильных системах, где требуются высокая производительность вычислений, низкое энергопотребление и устойчивость к отказам. Программируемость архитектуры ОВС обуславливает вариантность реализации аппаратного (HW) и программного (SW) видов обеспечения ФОП, что требует выполнения процедур оптимизации на всех этапах его построения.

Использование ко-дизайна [1] позволяет достичь рационального или даже оптимального использования ресурсов при проектировании ОВС-ФОП, что, в свою очередь, повышает эффективность их применения в составе мобильных платформ IoT. Главная цель оптимизации — минимизация временной или аппаратной сложности реализации алгоритмов в ОВС-ФОП при обеспечении производительности обработки данных.

В общем случае назначение ко-дизайна состоит в улучшении эксплуатационных характеристик ОВС-ФОП таким образом, чтобы SW максимально учитывало имеющиеся возможности HW и наоборот, внесение в проект HW таких изменений, которые бы в максимально отвечали реализации требований к SW. В свою очередь, модельно-ориентированное проектирование (Model-Driven Engineering- MDE) обеспечивает возможность системного подхода к созданию HW и SW и позволяет также при необходимости выполнить перераспределение процедур обработки данных между HW и SW.

Основная идея MDE заключается в последовательном преобразовании модели проектируемого объекта таким образом, что на каждом последующем этапе эта модель становится менее абстрагированной [2]. Применение такого подхода позволяет сделать процесс проектирования итеративным, выполнение поэтапной верификации при этом позволяет обеспечить поступательный характер этого процесса [3]. Принимая во внимание перспективы использования ОВС-ФОП в сфере IoT, следует учитывать, что современная концепция управления сетевыми компонентами предусматривает применение протоколов NETCONF или RESTCONF [4] для управления конфигурациями устройств, которые описываются на языке YANG [5], что приводит к необходимости использования дополнительных моделей в процессе проектирования.

В работе предлагается применение модельно-ориентированного подхода на всех стадиях жизненного цикла ФОП ОВС – проектирования, производства и эксплуатации. Предложенная в работе иерархия моделей, используемых в процессе ко-дизайна ОВС включает в себя:

- вычислительную модель, которая позволяет определить требования к точности представления данных и погрешность решения целевой задачи. Аутентичность вычислительной модели имеет особенно большое значение при проектировании вычислительных средств.

- архитектурную модель (АМ), которая позволяет определить степень выполнения конструктивных требований. АМ является иерархической – базовый уровень АМ описывает ПЭ ОВС. Второй и последующие уровни АМ описывают топологии кластеров ПЭ, предназначенных для выполнения функционального модуля всей или целевой задачи.

- комплексную модель, которая позволяет определить степень выполнения всей совокупности требований к ОВС.

- коммуникационную модель, которая обеспечивает возможность построения ОВС ФОП и оперативного управления его функционированием.

В работе рассматривается пример реализации предложенного подхода для ОВС «Минитера-2».

Литература

1. *Jürgen Teich*. Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future // Proceedings of the IEEE 100 (Special Centennial Issue). 2012. P. 1411–1430
2. *Benjamin S. Blanchard and Wolter J. Fabrycky*. Systems Engineering and Analysis. Prentice Hall, 5th edition. 2016. ISBN-13: 978-0132217354
3. *Rovers K.C., van de Burgwal M.D., Kuper J., Kokkeler A.B.J., Smit G.J.M.* Multi-domain transformational design flow for embedded systems // International Conference on Embedded Computer Systems (SAMOS 2011). 2011. P. 93–101. doi: 10.1109/SAMOS.2011.6045449
4. *Hui Xu, Chunzhi Wang, Wei Liu, Hongwei Chen* NETCONF-based Integrated Management for Internet of Things using RESTful Web Services // International Journal of Future Generation Communication and Networking. 2012. Vol. 5, № 3. P. 73–82.
5. *Scheffler Thomas and Bonness Olaf*. Manage Resource-constrained IoT Devices Through Dynamically Generated and Deployed YANG Models // Proceedings of the Applied Networking Research Workshop. 2017. № 1. P. 42–47.

Секция 2. КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И НЕЙРОННЫЕ СТРУКТУРЫ

ТРЕХМЕРНАЯ КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕРОДА*

А.Е. Киреева¹, Е.Н. Грибов^{2,3}, К.К. Сабельфельд^{1,3}, Н.В. Мальцева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

kireeva@ssd.sccc.ru, gribov@catalysis.ru, karl@osmf.sccc.ru, maltseva.n.v@catalysis.ru

В настоящее время топливные элементы находят широкое применение в качестве альтернативных источников энергии. Ведущие мировые компании инвестируют большие средства в разработку автомобилей на топливных элементах, и некоторые уже продемонстрировали образцы с неплохими мощностными показателями. Наиболее перспективными с точки зрения энергоёмкости и экологической безопасности являются низкотемпературные топливные элементы с протон проводящей мембраной, одним из основных компонентов которых является платиновый (Pt) катализатор, нанесенный на углеродный (C) носитель [1]. Срок службы топливного элемента определяется, в основном, коррозионной стабильностью углеродного носителя и нанесенного на него катализатора. Коррозионная стойкость носителя зависит от морфологии углеродных агрегатов, объема пор, площади и состава поверхности углеродного материала.

Описание натуральных экспериментов по изучению деградации Pt/C катализаторов, используемых в них материалов и методов исследования, приведено в [1, 2]. Электрохимические измерения проводились в трёхэлектродной стеклянной ячейке с жидким электролитом 0.1 М HClO₄. В качестве рабочего электрода использовался стеклогуглеродный стержень с нанесенным на его поверхность тонким слоем углеродной сажи Ketjen Black ES 600 DJ (рис. 1). На основе данных, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии, сделано предположение, что Ketjen Black состоит из полых наногранул, образованных атомами углерода. В [1] определены текстурные свойства углеродного носителя Ketjen Black: площадь удельной поверхности, объем и диаметр пор. Механизм коррозии углерода основан на предположении, что скорость его окисления определяется количеством ковалентных связей с кислородом [3].

В настоящей работе на основе предложенного механизма и текстурных свойств углеродного носителя Ketjen Black разработана трёхмерная клеточно-автоматная (КА) модель электрохимического окисления углерода. Моделируемое пространство является дискретным и состоит из множества клеток, характеризующихся парой (x, s) , где x – пространственная координата, s – состояние. Состояния клеток определяются элементами моделируемой системы и задаются алфавитом $A = \{C_0, C, COH, COOH, \emptyset\}$, где C_0 обозначает атом углерода, находящийся внутри объёма образца, C – поверхностный атом углерода, COH и $COOH$ – поверхностные атомы окисленного углерода с одной и двумя ковалентными связями, \emptyset – свободное место без атомов. Образец носителя Ketjen Black в КА-модели формируется из гранул, каждая гранула образована двумя вложенными сферами. Область между сферами заполнена атомами углерода, внутренняя сфера считается заполненной электролитом, т.е. внутренняя поверхность гранулы тоже корродирует. Радиусы сфер подобраны в соответствии с текстурными свойствами Ketjen Black. Состояния клеток изменяются в соответствии с вероятностными правилами, заданными на основе механизма коррозии углерода. Режим применения правил – синхронный. Применение правил ко всем клеткам клеточного массива называется итерацией. Коррозия приводит к разрушению и отрыву частей образца. Для определения атомов, связанных со стеклогуглеродным стержнем непосредственно или через другие атомы, в модели после каждой итерации выполняется поиск компонент связности и удаление несвязанных атомов.

В результате КА-моделирования вычислена временная зависимость доли «чистых» и окисленных атомов углерода, и электрохимической ёмкости образцов Ketjen Black для различных значений модельных параметров: размеров образцов и вероятностей правил электрохимического окисления углерода. Выполнено сравнение результатов моделирования с данными натуральных экспериментов из [2].

Литература

1. Грибов Е.Н., Кузнецов А.Н., Головин В.А., Воропаев И.Н., Романенко А.В., Окунев А.Г. Деградация катализаторов Pt/C в условиях старт стоп циклирования // Электрохимия. 2014. Т. 50. № 7. С. 780–792.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 14-11-00083.

2. Мальцева Н.В., Головин В.А., Чукунова Ю.О., Грибов Е.Н. Влияние количества поверхностного кислорода на электрохимическую емкость и стабильность высокоповерхностной сажи Ketjen Black ES 600 DJ // Электрохимия. 2018. Т. 54, № 5. в печати.
3. Gribov E.N., Maltseva N. V., Golovin V.A., Okunev A.G. A simple method for estimating the electrochemical stability of the carbon materials // Int. J. Hydrogenenergy. 2016. Vol. 41. P. 18207–18213.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СТОЛКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТАХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

В.П. Маркова

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, Россия
markova@ssd.ssc.ru

В работе рассматривается простейший класс одночастичных клеточных автоматов HPP1gr [1], определенных на 2D квадратной решетке. Каждый узел решетки (клетка) имеет четырех соседей. В каждый момент времени в клетке может находиться не более одной движущейся частицы с единичной массой и единичной скоростью, направленной в сторону соседнего узла, и одна частица покоя (rest particles) с массой 2 и нулевой скоростью. Состояние каждой HPP1gr-клетки однозначно определяется булевым вектором длины 5.

HPP1gr клеточный автомат (КА) работает синхронно: все клетки автомата меняют свое состояние одновременно на каждом итерационном шаге. Шаг состоит из двух последовательных фаз: столкновение и сдвиг. Столкновение выполняется локально в каждой клетке автомата. При столкновении общая масса частиц и импульс в клетке остаются постоянными. В результате столкновения частиц HPP1gr-клетка из текущего состояния может перейти в любое другое состояние, включая и текущее, с некоторой вероятностью. На фазе сдвига все движущиеся частицы сдвигаются в сторону ближайшего соседа. Все клетки HPP1gr автомата вычисляют новое состояние синхронно и параллельно, в результате чего происходит изменение глобального состояния HPP1gr автомата. Множество вероятностей перехода клеток из одного состояния в другое называется *матрицей столкновения*. В [1] доказано, что если матрица столкновений на микроуровне удовлетворяет условию полудетального баланса, то HPP1gr КА моделирует волновой процесс на макроуровне.

В работе вместо традиционной матрицы столкновений размера $2^5 \times 2^5$ используется модифицированная матрица столкновений меньшего размера [2]. Модификация состоит в следующем.

1. Матрица строится только для тех состояний клеток, которые участвуют в столкновении частиц.

2. Уменьшенное количество (работающих) состояний представляется в виде непересекающихся *классов эквивалентности* ($KЭ(m)$). ($KЭ(m)$) объединяет клетки, которые имеют одну и ту же модельную плотность и импульс. Для каждого $KЭ$ строится матрица столкновений. Элементы матрицы для каждого $KЭ$ должны удовлетворять двум условиям: нормализации и полудетального баланса.

В модели HPP1gr в процессе столкновения участвуют один $KЭ$ массой 2: $KЭ(2)=\{5, 10, 16\}$, один класс массой 4: $KЭ(4)=\{15, 21, 26\}$ и четыре $KЭ$ массой 3: $\{7,18\}$, $\{11,17\}$, $\{13, 24\}$ и $\{14, 20\}$. Переход к $KЭ$ позволяет не только уменьшить временную сложность процесса моделирования, но и целенаправленно влиять на профиль волны (амплитуду и степень размывания волны). Результаты компьютерного моделирования волнового процесса в HPP1gr КА показали, что для заданной плотности клеток HPP1gr автомата

- скорость распространения КА-волны зависит только от плотности среды, в которой моделируется волновой процесс,
- параметры профиля КА-волны зависят от величины элементов таблицы столкновений.

Литература

1. Rothman D.H., Zaleski S. Lattice-Gas Cellular Automata: Simple Models of complex Hydrodynamic. Cambridge University Press, 1997.
2. Markova V. Designing a collision matrix for a cellular automaton with rest particles for simulation of wave processes // Bull. Nov. Comp. Center, Comp. Science. 36 (2014), 47-56.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ*

С.Н. Торгаев, Н.А. Шаляпина, М.П. Сухоруков, Д.С. Торгаева

НИИ Космических технологий Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия

torgaev@tpu.ru, nat.shalyapina@gmail.com, max_sukhorukov@mail.ru, belial1349@mail.ru

В настоящее время большинство нефтегазодобывающих скважин эксплуатируются штанговыми глубинными насосами (ШГН). Для предотвращения аварийных ситуаций, вызванных неисправностью внутрискважинного и наземного оборудования, необходимо осуществлять непрерывный контроль и диагностику состояния сложной многокомпонентной системы. Наиболее эффективными методами диагностики состояния оборудования ШГН являются динамометрирование и ваттметрирование. Оба метода заключаются в анализе формы зависимостей, полученных при помощи специальных измерительных систем. В случае динамометрирования рассчитывается зависимость нагрузки, действующей на полированный шток, от его перемещения. По форме полученной динамограммы можно определить свыше 30 как количественных, так и качественных параметров, описывающих состояние насосного оборудования ШГН без его подъема [1].

Для контроля и диагностики наземного оборудования, в частности, электропривода ШГН, в качестве которого в большинстве случаев выступает трехфазный асинхронный двигатель, используется второй метод – ваттметрирование.

В настоящее время не существует подробной математической модели, которая бы позволяла достоверно и полно описывать все процессы и диагностировать все неисправности нефтедобывающего оборудования. Во-первых, это связано с тем, что динамограмма и ваттметрограмма связаны сложными нелинейными зависимостями, требующими учета большого количества данных по скважине и добывающему оборудованию [2]. Во-вторых, данные характеристики могут непрерывно меняться в широких пределах. Указанные сложности ограничивают возможность использования классических алгоритмов, которые лежат в основе существующих методов управления [3]. Требуется привлечение принципиально новых решений, получение которых оказывается возможным благодаря математическому аппарату искусственных нейронных сетей (ИНС).

Разработка и реализация новых нетривиальных алгоритмов оперативной диагностики и управления на основе ИНС позволит повысить надёжность устройств и уровень автоматизации [4], а также уменьшить эксплуатационные расходы, расходы на техническое обслуживание и ремонт оборудования, в частности, нефтедобывающих скважин, оборудованных ШГН.

В данной работе проведен аналитический обзор и сравнение предлагаемых методик и подходов для контроля и управления техническими объектами, который показал, что на сегодняшний день, не существует универсальной системы, которая бы осуществляла одновременную диагностику состояния ШГН и в зависимости от типа неисправности, задавала соответствующий режим управления, без участия обслуживающего персонала. Таким образом, обозначена актуальная область исследования, требующая поиска новых решений и алгоритмов, с помощью которых могут быть построены макромодели, описывающие поведение сложных динамических объектов и систем их управления в целом, а также разработку новых методов проектирования и тестирования данных систем.

Литература

1. Элияшевский И.В. Технология добычи нефти и газа. М. : Недра, 1985. 260 с.
2. Сухоруков М.П., Торгаева Д.С., Мамлина В.В. Сравнительный анализ методов определения уровня жидкости в межтрубном пространстве нефтяной скважины // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции (29 ноября – 1 декабря 2017 г.) : в 2 ч. Ч. 1. Томск : В-Спектр, 2017. С. 178–181.
3. Ultrasonic level gauge of light oil / Soldatov A.I., Shinyakov Y.A., Sukhorukov M.P. and others // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proc., Kazakhstan, Astana, 29–30 June 2017. Astana : S. Seifullin Kazakh Agrotechn. Univ., 2017. Inc. 7998541.
4. Software-Hardware System for Measurement of the Pallet Dimensions / Sorokin P.V., Shinyakov Y.A., Sukhorukov M.P. and others // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proc., Kazakhstan, Astana, 29-30 June 2017. Astana : S. Seifullin Kazakh Agrotechn. Univ., 2017. Inc. 7998536.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», Соглашение № 14.574.21.0157 (уникальный идентификатор RFMEFI57417X0157).

IN SITU CLASSIFICATION OF RAW AUDIO SAMPLES BY CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN ELECTRONIC BEEHIVE MONITORING

V.A. Kulyukin, S. Mukherjee, Yu.B. Burkatovskaya

Department of Computer Science, Utah State University, Logan, Utah, USA
School of Computer Science & Robotics, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Institute of Applied Mathematics and Computer Science, Tomsk State University, Tomsk, Russia
vladimir.kulyukin@usu.edu, tracey@tpu.ru

Electronic beehive monitoring (EBM) helps extract critical information on colony behavior and phenology without invasive beehive inspections and transportation costs. Audio beehive monitoring is an important component of EBM that continues to attract considerable research and development effort, because it has the potential to automate the identification of various stressors for honeybee colonies and the monitoring of hive health. In this investigation, several convolutional neural networks are developed to classify audio samples captured from microphones deployed above Langstroth beehives' landing pads. We show that convolutional neural networks (ConvNets) can successfully classify raw audio methods and perform on par with standard machine learning (ML) methods traditionally used in audio classification. To ensure the replicability of our findings reported in this article, we have made public our source code and our data set of 9,110 manually labeled audio samples obtained from live honeybee colonies. The links to our source code and data will be available in the journal version of this article.

On our data set, ConvNets performed on par with the four standard ML methods traditionally used in audio classification: logistic regression, KNN, random forests, and support vector machines. All ConvNets and standard ML methods achieved a validation accuracy above 99%. The main trade-off between the ConvNets and the standard ML methods is between manual feature engineering and training time. On an Intel Core i7-4770@3.40GHz processor with 15.5 GiB of RAM and running 64-bit Ubuntu 14.04 LTS it took a total of 59.69 hours to train four ConvNets and only 5 minutes to train the four standard ML models. On the other hand, we spent 80 man hours to complete the feature engineering for the four standard ML methods.

The executed experiments indicate that it is possible to build ConvNets that classify raw audio samples on par with ConvNets that classify the Fourier spectrograms of the same samples. Specifically, on our data set, a ConvNet trained to classify raw audio samples achieved a validation accuracy of 99.93%, which was slightly higher than the validation accuracy of 99.13% achieved by a ConvNet trained to classify Fourier spectrograms.

Our trained raw audio ConvNet model was persisted on the sdcard of a raspberry pi 3 model B v1.2. The raspberry pi was powered with a fully charged Anker Astro E7 26800mAh portable battery. Two hundred 30-second raw audio samples from the audio data set were placed in a local folder on the raspberry pi. A Python script was written to run every 15 minutes to load the persisted trained ConvNet into memory, load an audio sample from the local folder, split it into non-overlapping 2-second segments, and then classify each 2-second audio segment with the loaded ConvNet. The fully charged battery supported this audio classification for 40 hours during which 162 30-second samples were processed. Thus, it took the system, on average, 13.66 seconds to process one 30-second audio sample. The script was then modified to process four 30-second audio files once every 60 minutes. The objective was to estimate whether a batch approach to in situ audio classification would result in better power efficiency, because the persisted ConvNet would be loaded into memory only once per every 4 30-second audio samples. With the batch approach, the fully charged Anker battery supported audio classification for 43 hours during which 172 30-second audio samples were processed. Thus, it took the system 37.68 seconds, on average, to classify a batch of 4 30-second audio samples.

Our investigation suggests that ConvNets can be put to productive use in electronic beehive monitoring not only because they perform on par with standard ML methods and require no feature engineering but also because they can operate in situ on low voltage computational devices such as the raspberry pi computer.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ч. Гу, М.Л. Громов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
chongyugu@gmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com

В данной работе мы хотим создать систему автоматического управления игрушечным гоночным автомобилем. Подобного рода задачи всегда были сложными и требовали специализированных подходов к их решению. Это обусловлено несколькими основными моментами. Во-первых, сложностью самих объектов управления. Во-вторых, существованием большого количества неопределенностей и нелинейных характеристик, которые трудно точно описать и учесть. В-третьих, требования к задачам управления часто являются многоуровне-

выми и многоцелевыми. По этим причинам поиск новых методов создания систем автоматического управления является актуальной задачей. Один из возможных подходов к решению этой задачи – это применение нейронных сетей [1].

В работах [2, 3] описываются примеры решения задачи автоматического управления автомобилем на основе искусственных нейронных сетей. Эти решения основаны на распознавании изображений средствами библиотеки OpenCV, и ориентированы на изучение автомобилем маршрута движения (то есть, маршрут заранее не известен). В результате, движение такого автомобиля никак нельзя описать как движение гоночного автомобиля.

В нашей работе мы исходим из того факта, что в гоночных дисциплинах автоспорта трек заранее известен гонщику, и на движение автомобиля оказывают влияние возмущения локального характера. То есть, можно считать допустимую (исключающую движение с проскальзыванием колёс) максимальную скорость движения автомобиля в каждой точке трека. Затем, во время движения автомобиля по треку, система управления должна стараться придерживаться максимальной расчётной скорости, учитывая только локальные возмущения. Таким образом, мы предполагаем два режима работы системы управления автомобилем: медленный режим знакомства автомобиля с треком и гоночный режим движения по треку. Обе задачи предполагается решить с применением искусственных нейронных сетей. В качестве инструмента работы с нейронными сетями будет использоваться инструмент Google TensorFlow [4]

Основным новшеством в данной работе будет использование микроконтроллера в качестве вычислительного узла, на котором будет реализована нейронная сеть. Причём мы видим два возможных способа реализовать нейронную сеть на микроконтроллере.

Первый из них – адаптировать существующие Python/C++ реализации нейронных сетей для использования в микроконтроллере. Второй – перевести нейронную сеть в одно из известных математических представлений (например, в матричное представление) и реализовывать на микроконтроллере это представление. Какой из двух способов окажется более эффективным нам заранее не известно и это является предметом нашего дальнейшего исследования.

Литература

1. Б. Лу. Искусственная нейронная сеть и контроль нейронной сети. [11.2005] URL: <https://wenku.baidu.com/view/6cf2ed9105087632311212a1.html> (дата обращения: 23.03.2018).
2. Autonomous RC car using Raspberry Pi and Neural Networks // Vimal Vignesh, [07.2016] URL: <http://www.multunus.com/blog/2016/07/autonomous-rc-car-using-raspberry-pi-and-neural-networks/> (дата обращения: 15.12.2017).
3. OpenCV Python Neural Network Autonomous RC Car. TensorFlow [Электронный ресурс] // URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 26.02.2018).

Секция 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ПРАКТИКЕ ПРИМЕНЕНИЯ БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

В.И. Аксенова¹, Т.Ф. Шкляр², Н.А. Первухин²

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет», Екатеринбург, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Екатеринбург, Россия
ver.axenova@yandex.ru, tatyana.shklyar@usma.ru, npervuhin@yandex.ru

Современный этап образования в высшей школе характеризуется усилением внимания к качеству подготовки специалистов. Вопросы практики использования бально-рейтинговой системы (БРС) как средства повышения качества обучения остаются в центре внимания и вызывают интерес педагогического сообщества на протяжении последних лет [1].

Преподавание дисциплины «Современная научная картина мира» (СНКМ) предполагает использование бально-рейтинговой системы как гибкого и эффективного средства ранжирования студентов по результатам их учебной деятельности, мотивирующее студентов на достижение высоких результатов. За каждый вид деятельности определены четкие критерии оценки, с которыми студенты ознакомлены в самом начале изучения дисциплины.

Для оценки эффективности использования БРС с целью повышения качества знаний по дисциплине СНКМ была взята совокупность данных успеваемости 716 студентов первого и второго курсов медико-профилактического (МПФ), фармакологического (ФФ), стоматологического (СФ) факультетов Уральского государственного медицинского университета по итогам преподавания дисциплины с 2013 по 2016 год.

Оценка успеваемости осуществлялась в рамках бально-рейтинговой системы по величине рейтинг-балла (РБ), который «складывался» из рейтинга контрольных работ (P_{KM}), рейтинга исследовательских работ ($P_{УИРС}$) и рейтинга итогового тестирования ($P_{ИТ}$). Применительно к оценке знаний студентов в рамках БРС представляется возможным, оценив взаимосвязь факторных и результативных признаков системного множества, сделать вывод о «качественном преобразовании» исследуемых признаков [2]. Для выявления наличия связи между факторными (P_{KM} , $P_{УИРС}$, $P_{ИТ}$) и результативными признаками (РБ), ее характера и направления нами были использованы графический, корреляционный и регрессионный методы анализа [3].

Применение БРС при освоении дисциплины СНКМ показало, что на рейтинг-балл оказывает **сильное** ($r = 0,7 - 0,9$) влияние рейтинг контрольных и исследовательских работ студентов – компоненты традиционного пути освоения дисциплины. Тестовый метод проверки знаний ($r = 0,3 - 0,5$) имеет **слабую** связь с рейтинг-баллом студента по дисциплине, вместе с тем на итоговом мероприятии (зачете) студент должен демонстрировать комплекс полученных знаний в процессе освоения дисциплины в семестре.

Достичь поставленной задачи возможно при использовании модульно-рейтинговой системы (МРС), применение которой позволяет организовать учебный процесс в виде законченных самостоятельных модулей, имеющих логическую завершенность и несущих функциональную нагрузку, и включает обязательные и дополнительные виды работ. За каждый вид деятельности определены четкие критерии оценки, с которыми студенты ознакомлены в самом начале изучения дисциплины, при этом модуль предполагает отчетность в виде компьютерного тестирования по определенному кругу вопросов. Использование МРС позволит на этапе рубежного рейтинга аттестовать часть студентов по дисциплине, что значительно упростит аттестацию студентов и усилит связь факторных и результативного признаков.

Литература

1. Гершунский Б.С. Философия образования для XXI века. 2-е изд. Педагогическое общество России, 2002. 512 с.
2. Кузнецов В.И., Идлис Г.И., Гутина В.Н. Естествознание. М. : АГАР, 1996. 378 с.
3. Статистика : учеб. пособие. 3-е изд. / под ред. В.Н. Салина, Е.П. Шпаковской. М. : КНОРУС, 2016. 504 с.

РЕШЕНИЕ ТРИЕДИНОЙ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ БД В ERM-МОДЕЛИ

А.М. Бабанов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
babanov2000@mail.ru

Проектирование схемы БД для корпоративной системы начинается с процесса, на входе которого представления о данных отдельных пользователей, бизнес-процессов, подразделений, организаций, а на выходе – концептуальная схема БД всей системы. Аналитики-профессионалы выполняют его как единую деятельность одного исполнителя, состоящую из следующих основных шагов, повторяющихся для каждой очередной порции аналитической информации, поступающей от эксперта по предметной области (ПрО):

- анализ, формализация этой информации и проектирование внешних подсхем соответствующих бизнес-процессов;

- определение того, какие данные следует хранить в БД, а какие – вычислять по мере необходимости на основе хранимой информации;

- интеграция подсхем хранимых данных в концептуальную схему данных предприятия.

Специалисты по моделированию данных давно задумывались о методике решения этой триединой задачи. Еще на заре развития БД была принята архитектура ANSI/SPARC, включающая три уровня представлений о ПрО: внутренний, внешний и концептуальный. В соответствии с терминологией ANSI/SPARC, внешнее представление – это содержимое базы данных, каким его видит определенный пользователь. Концептуальное представление существенно отличается от представления данных какого-либо отдельного пользователя. Вообще говоря, концептуальное представление – это представление данных в том виде, какими они являются на самом деле, а не в том, какими их вынужден рассматривать пользователь. Третьим уровнем архитектуры является внутренний уровень. Внутреннее представление – это низкоуровневое представление всей базы данных как базы, состоящей из некоторого множества экземпляров каждого из существующих типов внутренних записей. Внутреннее представление описывается с помощью внутренней схемы, которая определяет не только различные типы хранимых записей, но также существующие индексы, способы представления хранимых полей, физическую упорядоченность хранимых записей и т.д. [1].

Но, ни архитектура ANSI/SPARC, ни Дейт [1] не дают процедуры решения задачи, они лишь выделяют и определяют необходимые для ее решения представления. Детальная методика процесса проектирования схем БД может быть найдена у Коннолли и Бегг [2]. В этом издании авторы также выделяют три уровня представлений, но по-своему. Концептуальное представление – представление о БД, которое идентифицирует важные сущности, связи и атрибуты, т.е. фактически является ER-схемой ПрО. Логическое представление – это результат трансляции концептуальной ER-схемы в логическую структуру БД, в случае реляционной модели это набор отношений. И, наконец, третий уровень – это физическое представление БД на языке целевой СУБД, включающее, в случае реляционной СУБД, представления, триггеры, индексы и другие элементы.

По определению Коннолли и Бегг методика проектирования – это структурированный подход, который использует процедуры, методы, средства и документацию для поддержки процесса проектирования. На этапе концептуального проектирования создается модель данных, используемых всем предприятием, независимая от физических соображений – целевой СУБД, прикладных программ, языков программирования, технической платформы, вопросов производительности и т.д. Только на втором этапе (построения логической схемы, например, реляционной) в случае сложной ПрО авторами предлагается организовать цикл рассмотрения отдельных подсхем пользователей (локальных логических схем) и их интеграцию в глобальную логическую схему. Интеграции концептуальных подсхем пользователей методика Коннолли и Бегг не предполагает.

В таком случае возникает вопрос: как, не имея полной картины ПрО, можно говорить о выделении хранимых и получаемых атрибутов, что предполагается выполнять еще на этапе концептуального проектирования. И хотя форма реализации получаемого атрибута – задача этапа физического проектирования, формирование списка таких атрибутов – прерогатива концептуального проектирования. Абсолютно все методики проектирования предполагают, что в концептуальной и логической схемах присутствуют только хранимые данные, для которых будут создаваться соответствующие структуры хранения. Правил решения задачи «хранить или вычислять» не приводится. Указанные противоречия присущи всем известным методикам.

Разработчики ERM-модели [3] предлагают автоматизировать выполнение двух последних этапов триединой задачи и поручить человеку только анализ информации, полученной от экспертов, и первоначальную ее формализацию. Эту интеллектуальную работу никто кроме человека выполнить не в состоянии. А вот последующую обработку можно поручить программной системе. Возможность реализации такого подхода в рамках CASE-инструмента, поддерживающего ERM-модель, обеспечивают следующие особенности модели:

- богатые выразительные способности;

- возможность различных представлений в схеме одних и тех же явлений ПрО с различной степенью детальности;

– наличие в модели отношений между различными структурными компонентами – классами и отображениями.

Литература

1. *Date C.J.* An introduction to database systems. 8th edition. Addison-Wesley Longman Inc., 2004. 1005 p.
2. *Connolly T.M., Begg C.E.* Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management, 4th edition. Addison-Wesley Longman Inc., 2005. 1236 p.
3. *Бабанов А.М.* Семантическая модель «Сущность – Связь – Отображение» // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2007. № 1. С. 77–91.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ШТАТНОГО РАСПИСАНИЯ ИНСТИТУТА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.В. Горбунов, Г.Е. Веселов

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
avgorbunov@sfedu.ru

Согласно дорожной карте «Изменения в отраслях социальной сферы, направленные на повышение эффективности образования и науки» [1], принятой Правительством РФ в 2014 году, инструменты оценки качества и образовательной политики в сфере высшего образования включают в себя введение нормативного подушевого финансирования вузов. Переход на новые условия финансового обеспечения деятельности вновь вывел на передний план проблему оптимизации организации образовательного процесса, в том числе оптимизацию численности профессорско-преподавательского состава (ППС).

Традиционная методика расчёта штатного расписания, которая использует в качестве исходных данных объёмы учебной нагрузки кафедр, не даёт никаких стимулов для оптимизации планирования учебного процесса, так как чем большее количество аудиторных занятий будет запланировано, тем большее число ставок ППС может получить кафедра. Более эффективной методикой расчёта штатного расписания является его формирование на основе системы зачётных единиц [2], при котором количество штатных ставок ППС по каждой кафедре зависит уже не от абсолютного числа аудиторных часов нагрузки, а от удельной трудоёмкости дисциплин в общей трудоёмкости образовательной программы и, что самое важное, от численности обучающихся по данной образовательной программе [2]. Однако переход на такую методику формирования штатного расписания существенно увеличивает трудоёмкость проведения расчётов и требует использования для этого современных информационных технологий.

Необходимость применения информационных технологий при формировании штатного расписания Института компьютерных технологий и информационной безопасности (ИКТИБ) Южного федерального университета (ЮФУ) [3] объясняется также рядом особенностей ведения образовательного процесса, к которым можно отнести активное внедрение в образовательный процесс элементов проектной деятельности и привлечения внешних специалистов для независимой оценки результатов обучения, ведение образовательной деятельности по ряду специальностей совместно с Учебным военным центром, высокий уровень унификации учебных планов и введение общеинститутских дисциплин – всё это приводит к «оттягиванию» довольно высокого объёма учебной нагрузки от выпускающих кафедр и к необходимости перераспределения этого объёма нагрузки и соответствующего ему количества штатных ставок ППС.

Расчёт штатной расстановки в рамках утверждённого штатного расписания ИКТИБ ЮФУ проводится с помощью разработанного на языке Visual Basic for Application (VBA) программного обеспечения для Microsoft Office Excel с использованием в качестве исходных данных выгрузки из 1С:Университет сводной учебной нагрузки всех кафедр вуза, задействованных в реализации образовательных программ ИКТИБ ЮФУ, а также нагрузки кафедр ИКТИБ ЮФУ, задействованных в реализации образовательных программ других структурных подразделений ЮФУ (около 5 тысяч записей). Расчёт проводится в разрезе каждого из задействованных учебных планов (около 170 планов) реализуемых образовательных программ ИКТИБ ЮФУ с учётом фактического контингента обучающихся. В качестве выходных данных, помимо расчётного числа ставок по каждой кафедре, формируются сводные таблицы по каждому учебному плану, которые позволяют определить, сколько ставок необходимо передать различным кафедрам и структурным подразделениям для обеспечения проведения «внешних» дисциплин, оценить степень оптимизации планирования учебного процесса по каждой образовательной программе, получить исходную информацию для принятия ряда управленческих решений. Дополнительный факторный анализ позволяет определять, например, требуемое с точки зрения рентабельности минимальное количество обучающихся по образовательной программе, эффективность проведения потоковых лек-

ций с точки зрения снижения средней учебной нагрузки на 1 ставку ППС ИКТИБ ЮФУ, степень влияния на результаты расчёта установленного значения средней учебной нагрузки на 1 ставку ППС ЮФУ и др.

Литература

1. План мероприятий («дорожная карта») «Изменения в отраслях социальной сферы, направленные на повышение эффективности образования и науки», утв. распоряжением Правительства РФ от 30.04.2014 № 722-р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162797.
2. Давыдов Ю.А., Ганус А.Н., Гафиатулина Е.С., Бобушев С.А. Формирование штатного расписания ППС на основе системы зачетных единиц // Проблемы высшего образования. 2016. № 1. С. 19–21.
3. Веселов Г.Е., Абрамов Е.С., Горбунов А.В., Целых А.А. Развитие системы подготовки специалистов в области информационной безопасности в Южном федеральном университете // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. № 25, т. 1. С. 92–102.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Г.Е. Веселов, Н.А. Познина, А.В. Горбунов, А.М. Кумов

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
avgorbunov@sfnedu.ru

Одним из приоритетных направлений процесса информатизации современного общества является информатизация образования – процесс обеспечения сферы образования методологией и практикой разработки и оптимального использования современных информационных технологий (ИТ), ориентированных на реализацию целей обучения и воспитания. Однако активное применение ИТ в образовательном процессе ставит проблему рационального сочетания инновационных методов обучения с традиционными подходами.

Среди существующих методов внедрения ИТ в образовательную деятельность многие исследователи выделяют совершенствование механизмов управления системой образования с использованием современных информационно-методических материалов и автоматизированных банков данных научно-педагогической информации; совершенствование методологии и стратегии отбора содержания, методов и организационных форм образования, соответствующих задачам развития личности обучающегося; создание методических систем обучения, ориентированных на развитие интеллектуального потенциала обучающегося, на формирование умений самостоятельно приобретать знания, осуществлять информационно-учебную, экспериментально-исследовательскую деятельность, на разнообразные виды самостоятельной деятельности по обработке информации; создание и использование методик компьютерного тестирования и диагностирования результатов обучения [1, 2].

Внедрение ИТ в процесс образования имеет не только очевидные плюсы, но и минусы, возможные последствия которых следует учитывать ещё при проектировании образовательных программ и входящих в их состав учебно-методических комплексов. Известно, что процесс обучения есть совместная деятельность преподавателя и обучающегося, в которой сегодня появился посредник – компьютер; причём в настоящее время данный процесс превращается в процесс, управляемый компьютером. Однако, если современные ИТ использовать как средство, позволяющее эффективно строить процесс управления образовательным процессом, то можно выделить целый ряд преимуществ такого применения. Информационные технологии могут выступать в качестве средств поддержки ведения управленческой и организационно-методической деятельности, в качестве инструментов мониторинга, диагностики и коррекции образовательного процесса, позволяют решать актуальный вопрос организации дистанционного обучения. Но всегда необходимо помнить, что без достижения преподавателями и руководителями вузов необходимой квалификации по использованию информационно-коммуникационных технологий в образовательной, методической и организационной деятельности, усилия и средства, вкладываемые в техническое и программное оснащение образовательных организаций, не принесут должной отдачи.

В Институте компьютерных технологий и информационной безопасности (ИКТИБ) Южного федерального университета (ЮФУ) [3] ИТ используются как на уровне управления образовательным процессом (например, учебное планирование, формирование и распределение учебной нагрузки, учет движения контингента и результатов обучения реализуются на базе платформы 1С:Университет; расчёт штатного расписания ИКТИБ проводится с помощью собственного разработанного программного обеспечения), так и непосредственно в процессе обучения с использованием электронной информационно-образовательной среды вуза (элементы электронного обучения и дистанционных образовательных технологий реализуются на базе платформы Moodle). Осенью 2017 года ЮФУ в рамках реализации приоритетного проекта «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» получил грант на открытие Южного регионального центра компетенций в области онлайн-обучения, что активизировало процесс создания сотрудниками вуза электронных образовательных ресурсов и массовых открытых онлайн-курсов (МООС, Massive Open Online Courses).

Внедрение ИТ в образовательный процесс ИКТИБ ЮФУ позволило повысить эффективность организации обучения, ускорить принятие управленческих решений, внедрить актуальные методы онлайн-обучения и дистанционных образовательных технологий, повысить привлекательность института среди студентов и абитуриентов.

Литература

1. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы; перспективы использования. М. : ИИО РАО, 2010. 140 с.
2. Таборовец В.В., Стацук И.П., Русак Т.В. Инновационные технологии управления современным учреждением высшего образования // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 31 (113). С. 14–17.
3. Веселов Г.Е., Абрамов Е.С., Горбунов А.В., Целых А.А. Развитие системы подготовки специалистов в области информационной безопасности в ЮФУ // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. № 25, т. 1. С. 92–102.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОМ ПРОЕКТЕ СТУДЕНТОВ-ИНЖЕНЕРОВ

Ю.В. Маслова, А.П. Коханенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
yulya_maslova_86@inbox.ru, kokh@mail.tsu.ru

В работе представлена методика использования информационных технологий в организации практико-ориентированного обучения будущих инженеров в рамках проектной деятельности. На сегодняшний день, инженерное образование является одним из приоритетов государственной политики в области образования, отражающим необходимость технологического перевооружения производств и создание кадрового обеспечения высокотехнологичных предприятий [1]. В последние годы значительно увеличились объемы контрольных цифр приема на инженерные специальности, за счет чего проблема количественного дефицита инженерных кадров будет решена. Однако, в связи с быстрыми темпами развития техники и технологий, а также появлением индустрии 4.0, необходимо повышать качество подготовки будущих выпускников инженерных специальностей.

Одним из важнейших направлений образования является внедрение в учебный процесс педагогических технологий, направленных на развитие не только стандартных компетенций и навыков, но и личностных способностей, активной инициативной позиции. Для будущих инженеров современного уровня необходимым является выработка умений результативно использовать различные доступные ресурсы, сопоставлять теоретические знания с полученными навыками и многие другие возможности, необходимые для жизни и работы в быстромеменяющемся информационном обществе [2]. Для развития таких навыков необходимо использовать технологии, которые включают студентов в самостоятельную проблемно-поисковую деятельность. Примером такой технологии может служить метод проектного обучения. В основе такого метода лежит **развитие познавательных, творческих навыков учащихся, умений самостоятельно конструировать свои знания, умений ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического мышления**. Метод проектов обязательно должен быть **ориентирован на различную самостоятельную деятельность обучающихся индивидуальную, парную, групповую**, выполнение которой происходит в течение определенного отрезка времени. **Кроме того, он** дает возможность погрузить обучающихся в профессиональную деятельность уже на этапе обучения, поскольку все проекты отражают реальную проблемную ситуацию [2, 3]. Любая проектная деятельность подразумевает междисциплинарную составляющую. При выполнении проекта студенты часто вынуждены обращаться к полученным ранее знаниям, вплетая их в контекст проекта. Это позволяет связать все знания и навыки в единую цепочку и комплексно их использовать при решении поставленных задач.

На основе вышеописанной модели, группой авторов была разработана методика выполнения студентами междисциплинарных проектов в рамках курсов «Оптические системы связи» и «Планирование и организация производства». Тематами проектов являются реальные проблемные моменты в организации волоконных систем связи современного уровня в труднодоступных или густонаселенных районах. Перед обучающимися ставится задача выполнить проектирование с учетом ландшафтных особенностей, необходимого качества и количества передаваемых данных, срока и стоимости работ, а также заинтересованных сторон. Необходимо выбрать тип топологии сети, рассчитать необходимое количество каналов, расстояние между ретрансляторами сигнала, составить план предполагаемых работ, выбрать необходимое оборудование и сделать экономические расчеты, исходя из данных о рыночной стоимости. Для выполнения проекта формируются несколько команд обучающихся методом случайного выбора. В процессе выполнения проекта для поиска, обработки информации и ведения расчетов студенты используют различные информационные и поисковые системы и программы, среди которых Circuit Magic, Simple Voltage Calculator (для расчета электрических цепей), LineCross, ВОЛС.Эксперт (для расчета линий связи) и др. Для работы над проектом необходимо тесное командное сотрудничество. Поскольку офлайн встречи для современных молодых людей постепенно утрачивают свою актуальность, на базе

курса на платформе MOODLE создан форум для обсуждения [4]. Такой форум расширяет не только границы общения членов команды, но и дает возможность преподавателю постоянно следить за выполнением проекта в режиме онлайн и вносить свои комментарии, когда это необходимо. Защита проектов происходит в режиме презентации и перекрестного обсуждения.

Литература

1. *Кравченко Г.В., Петухова Е.А.* Использование метода проектов в обучении студентов вуза средствами информационных технологий // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. Курск, 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metoda-proektov-v-obuchenii-studentov-vuza-sredstvami-informatsionnyh-tehnologiy> (дата обращения 13.04.2018).
2. *Брыкова О. В., Громова Т. В.* Проектная деятельность студентов в системе Moodle // Сборник трудов семнадцатой региональной конференции по математике «МАК-2014». Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2014. С. 148–152.
4. *Булахов Н.Г.* Перенос электронных ресурсов на платформу Moodle // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 10/3. С. 202–204.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ СО СТУДЕНТАМИ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ

М.В. Политов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
m.v.politov@mail.ru

Одним из главных положительных качеств введения в действия нового закона об образовании является возможность использования новых образовательных технологий. Кроме этого, за последние пять лет выросла роль социальных сетей как средства коммуникации между людьми. Одной из особенностей современного интернет-сообщества является увеличивающийся поток различной, не всегда полезной, информации. В работе рассматривается опыт автора использования новых образовательных технологий и взаимодействия со студентами в социальных сетях.

Опыт 1. Проверка рефератов по курсу «Введение в специальность» через систему дистанционного обучения (СДО) MOODLE. В социальной сети «ВКонтакте» была создана беседа со студентами группы. Целью создания данной беседы являлось информирование студентов об очередной проверке сданных ими рефератов, выяснение вопросов, на какой стадии написания находится реферат того или иного студента. Если у кого-то из студентов не имелось возможности представить реферат в СДО MOODLE, то студент мог его разместить в указанной беседе. Кроме того, преподаватель мог дать пояснения студентам о недочётах в представленных отчётах.

Опыт 2. Практические занятия по курсу «Программирование». По аналогии с предыдущим опытом была создана беседа во «ВКонтакте», в которой фиксировалось посещение занятий, контролировалась работа каждого студента (по итогам занятия студент выкладывал в беседу код написанной программы). Так же в беседе размещались задания для самостоятельной работы, осуществлялось консультирование. Преимущество бесед соцсети «ВКонтакте» по сравнению с личным общением заключается в том, что все действия (как студента, так и преподавателя) протоколируются системой. А так как каждый пользователь, к тому же, проходит предварительную аутентификацию, то значительно снижается возможность подмены результатов работы или отказа заполнить её по причине неосведомлённости.

Опыт 3. Использование элементов проектного обучения при проведении курса «Основы робототехнических систем и комплексов». В беседе во «ВКонтакте» каждая группа студентов делится на команды, каждая из которых должна реализовать проект. В беседе обсуждаются этапы и сроки выполнения проекта, определяется роль каждого студента проекте, и проводятся консультации по вопросам, возникающим в процессе выполнения проекта. Более того, там же, в беседе, сформулированы требования к оформлению отчёта и возможности исправления ошибок.

На рис. 1 представлен робот-пылесос, один из проектов, реализованных в рамках курса «Основы робототехнических систем и комплексов». Данный робот полностью собран и запрограммирован студентами.

Применение описанного выше подхода к организации самостоятельной работы студента в учебном процессе позволяет повысить эффективность взаимодействия как студентов внутри группы, так и с преподавателем. Такой подход оказался удобным и для студентов, поскольку они могут эффективно организовать своё рабочее время, выполнять индивидуальную часть проекта в любое удобное для них время, а так же получить консультации не только в часы аудиторной работы.



Рис. 1. Пример проекта по курсу
«Основы робототехнических систем и комплексов»

Проведённые опыты позволяют сформулировать методику использования социальных сетей в образовательном процессе. В настоящее время проводится отладка предложенного подхода в рамках других курсов.

К РАЗРАБОТКЕ МОДУЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПО КУРСУ «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ»

Е.Н. Беккерман, С.А. Прокопенко, А.В. Чепурная

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
javajive@ya.ru, s.prokopenko@sibmail.com, chepurная_alezandra@mail.ru

Разработка электронных образовательных ресурсов, в том числе дистанционных, является одной из актуальных современных задач в образовании. Для этого существует множество систем дистанционного образования, предоставляющих широкие возможности по разработке и наполнению. Одной из них является СДО MOODLE [1], активно используемая в учебном процессе НИ ТГУ.

В данной работе мы обращаемся к разработке электронного курса «Аналитическая геометрия» для студентов радиофизического факультета ТГУ. В СДО MOODLE имеются инструменты для наполнения учебного курса ресурсами различной направленности: теоретический материал; контрольные вопросы различного типа; возможности обратной связи и пр. [2]. Также в учебный курс можно внедрить разнообразные интерактивные элементы и приложения [3]. Нами будет разработано интерактивное приложение – тренажер для решения типовых задач раздела «Прямая на плоскости».

Мы полагаем, что тренажер должен иметь три режима работы:

- 1) демонстрация этапов решения
- 2) обучение с проверкой знания формул
- 3) обучение с проверкой знания алгоритма решения задачи.

В настоящий момент нами были рассмотрены все указанные режимы работы на примере задачи нахождения отклонения точки от прямой. Для этой задачи все режимы работы алгоритмизированы, а первые два программно реализованы.

Нахождение отклонения точки от прямой заключается в следующем. Дано общее уравнение прямой $Ax + By + C = 0$ и точка с координатами (x_0, y_0) , требуется определить величину отклонения точки от прямой. Для решения поставленной задачи требуется выполнить следующие шаги: привести общее уравнение прямой к нормированному виду, высчитав нормирующий множитель и умножив на него общее уравнение, подставить координаты точки в левую часть нормированного уравнения, получив тем самым величину отклонения [4].

В режиме демонстрации решения программа согласно исходным данным (коэффициенты A , B и C общего уравнения прямой и координаты точки (x_0, y_0)) выводит на экран решение задачи с подробным объяснением каждого шага. Цель данного режима – продемонстрировать обучаемому алгоритм решения задачи и формулы, по которым производятся вычисления.

В режиме обучения с проверкой знания формул студент получает сгенерированную для него задачу. Результаты промежуточных расчетов и окончательный ответ необходимо ввести с клавиатуры. В случае ошибки существует возможность повторного ввода, при этом количество повторных вводов ограничено.

В режиме обучения с проверкой знания алгоритма студенту также предлагается сгенерированная для него задача. Далее, студент должен выбрать из ряда предложенных действий те, которые необходимо совершить для решения задачи и расставить их в правильном порядке. Таким образом обучающийся демонстрирует знание алгоритма решения задачи.

При расширении списка решаемых типовых задач раздела "Прямая на плоскости" для режима обучения с проверкой знания алгоритма мы предполагаем реализовать подход, основанный на так называемом блочном программировании, когда обучаемому предлагается самостоятельно «собрать» решение задачи из уже запрограммированных блоков.

Литература

1. MOODLE. Официальный сайт URL: <https://moodle.org>. (дата обращения: 27.03.18).
2. Тунда В.А. Пособие-путеводитель по документации Moodle 2.5: для начинающих. Томск: [б.и.], 2014. 222 с.: ил. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000480490>
3. Беккерман Е.Н., Мягченко Н.А., Шабалдина Н.В. Электронный образовательный ресурс Линейная алгебра: Расширение возможностей интерактивного обучающего модуля Решение систем линейных уравнений // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 8/2. С. 11–14.
4. Клетеник Д.В. Сборник задач по аналитической геометрии / под ред. Н. В. Ефимова. 17-е изд., стереотип. СПб. : Профессия, 2004. 199 с.: ил.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ВУЗОВ В ЭКСПОРТЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

А.К. Москалев, Е.В. Черемискина

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
elenacheremiskina@yandex.ru

В последнее время в мировой научной литературе усиливается дискуссия о влиянии всеобщей системы рейтингов на экономическую и образовательную деятельность вузов, в том числе региональных [1]. Приходится решать задачи: «наука или образование», выбирать инструмент «исследовательский или образовательный», в формате «мирового уровня или регионального». Ранжирование вузов на основе глобальных рейтингов ведет к концентрации и распределению финансовых ресурсов среди элитарных вузов. Такое распределение финансов может быть губительным для региональных вузов, возможности таких вузов в экспорте образовательных услуг уменьшаются.

Возможными нишами использования потенциала региональных вузов могут быть специфические образовательные услуги, которые можно транслировать аналогичным или близким регионам. Другое возможное направление экспорта образовательной деятельности может быть связано с использованием созданных ранее уникальных промышленных объектов энергетической, ядерной, ракетно-космической областей.

В работе была проведена оценка образовательной деятельности региональных вузов с позиции успешности и востребованности выпускников на рынке труда. Был проведен опрос выпускников двух групп специальностей, выбор групп которых обоснован в нашей более ранней работе [2].

Целью опроса было выделить показатели работы вуза, важные для успешности выпускника в профессиональной деятельности. Для каждой группы респондентов были разработаны анкеты с учетом специфики данной профессии. Для обработки результатов проведения социологического опроса выпускников экономической и инженерно-физической специальностей использовали нейросетевые технологии.

При обработке данных опроса выпускников экономического факультета был создан нейросетевой классификатор, входными (известными) параметрами которого были ответы респондентов на вопросы, касающиеся образовательного процесса вуза, выходным (неизвестным) показателем – успешность выпускника в профессиональной деятельности. Для корректной работы нейроклассификатора его сначала обучали на данных с известными ответами, а затем тестировали с целью проверки результата обучения. С помощью нейросетевого классификатора было получено, что из двадцати вопросов анкетирования, успешных выпускников отличают от неуспешных ответы на вопросы о роли в учебном процессе уровня профессорско-преподавательского состава. Так же важным является ответ об уровне преподавания экономики предприятия, уровне преподавания финансового менеджмента и уровне преподавания информационных систем в экономике предприятия, уровне различных практик. Самым значимым показателем при нейросетевой обработке анкет выпускников экономического факультета, по которому из всех выпускников можно выделить успешных, являлся ответ на вопрос о роли уровня подготовки профессорско-преподавательского состава.

Социологический опрос выпускников инженерно-физической специальности выявил, что для успешности в дальнейшей профессиональной деятельности важным также является уровень профессорско-преподавательского состава, уровень преподавания профилирующего предмета.

Предложенный в данной работе подход к оценке возможностей вузов на основе востребованности и успешности выпускников, полученный набор показателей успешности деятельности региональных вузов, роль уровня подготовки профессорско-преподавательского состава может способствовать принятию правильных управленческих решений в создавшихся экономических условиях, принятию стратегических мер дальнейшего развития региональных вузов с помощью экспорта, поможет быть конкурентоспособными.

Литература

1. *Хазелкорн Э.* Глобализация и гонка за репутацией // Императивы глобализации / отв. ред. М.В. Ларионова, О.В. Перфильева. М. : Логос, 2013. С. 271–371.
2. *Москалев А.К., Слабко И.В., Черемискина Е.В.* Индикаторы деятельности вузов на региональном рынке // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 5(87). С. 247–251.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКИХ ДВИЖКОВ UNITY3D И UNREAL ENGINE КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СО ШКОЛЬНИКАМИ

Д.А. Шаранов, Д.О. Змеев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
denisharapov@yandex.ru

В целях повышения интереса школьников к области информатики и информационных технологий, была поставлена задача о проведении проектной деятельности для школьников в области программирования. Темой для проектных работ была выбрана разработка компьютерных игр. В процессе подготовки программы занятий было необходимо выбрать подходящий инструмент для разработки компьютерных игр. Поэтому был проведён анализ между двумя наиболее популярными из них – Unity3D [1] и Unreal Engine [2], чтобы выяснить, какой из них наиболее подходит для обучения школьников.

Анализ проводился по следующим критериям:

Критерии оценки инструментов разработки компьютерных игр

Критерий	Описание	Результат
Производительность	Средний показатель FPS (Frames per second) при обработке одинаковых игровых сцен	Производительность Unreal Engine, в среднем, выше на 30%
Требовательность к ресурсам компьютера	Необходимые для корректной работы движка параметры процессора, оперативной памяти, графического адаптера	В среднем, Unity3D требует на 60% меньше системных ресурсов
Порог вхождения	Трудность освоения движка для начинающих	Unreal Engine более сложен для изучения, чем Unity3D
Основной язык программирования	Язык, используемый для программирования игровой логики	Unity3D использует язык C#, который визуально проще для начинающих, по сравнению с C++, используемым Unreal Engine. Однако, Unreal Engine имеет так же систему визуального программирования Blueprint, которая является более наглядной
Количество платных и бесплатных дополнительных ресурсов	Объём платных и бесплатных товаров, доступных в магазинах дополнительного контента движков	Unity3D имеет 39263 бесплатных и 3981 платных ресурсов в официальном магазине, Unreal Engine – 3056 бесплатных и 60 платных

В итоге, оба движка являются мощными инструментами разработки. Качество графики у обоих движков примерно одинаковое. Unity3D имеет более низкий порог вхождения для новых разработчиков, он менее требователен к ресурсам, его библиотека дополнительных ресурсов значительно больше, а язык программирования C# имеет более понятную структуру, чем C++, используемый в Unreal Engine [3-6]. Однако, производительность Unreal Engine выше, чем у Unity3D, а встроенная функция визуального программирования на языке Blueprint даёт обширные возможности для прототипирования игровой механики, а также позволяет развить алгоритмическое мышление у обучающихся. К тому же, язык C++ подходит лучше для обучения основам программирования.

Unity3D хорошо подойдёт для проектной деятельности, когда использование ресурсов компьютера критично, а также, когда нет необходимости углубляться в алгоритмику. Если цель проектной деятельности – развитие алгоритмического мышления и базовых знаний C++ (которые, например, будут нужны школьнику во время обучения в вузе), то в таком случае предпочтительнее выбрать Unreal Engine.

Литература

5. Unity (игровой движок). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Unity_\(игровой_движок\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Unity_(игровой_движок)) (дата обращения: 25.04.2018).
6. Unreal_Engine. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine (дата обращения: 25.04.2018).

7. UE4 для Unity-разработчиков // «Хабрахабр»: Блог компании Mail.Ru Group. URL: <https://habrahabr.ru/company/mail-ru/blog/327520/> (дата обращения: 25.04.2018).
8. Unreal против Unity: на чем лучше разрабатывать мобильные игры? // «Хабрахабр»: Блог компании Издательский дом «Питер». URL: <https://habr.com/company/piter/blog/269415/> (дата обращения: 25.04.2018).
9. Unreal Engine vs Unity 3D Games Development: What to Choose? // ValueCoders: Blog. URL: <https://www.valuecoders.com/blog/technology-and-apps/unreal-engine-vs-unity-3d-games-development/> (дата обращения: 25.04.2018).
10. Unity vs Unreal, How to Pick The Right Game Engine and Skyrocket Your Gamedev Career? // LiveEdu.TV: Blog. URL: <http://blog.liveedu.tv/unity-vs-unreal/> (дата обращения: 25.04.2018).

Секция 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

СРАВНЕНИЕ ПРИЕМНИКОВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ GEO++ GNSMART И ПРЕДЛОЖЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫБОРА МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИЁМНИКОВ

А.С. Астахова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
alinor_96@mail.ru

Использование систем спутниковой навигации является актуальным при слежении за смещением земной коры относительно наблюдаемого объекта. Для предупреждения аварийных ситуаций предприятие ООО «Газпром трансгаз Томск» использует информационную систему Geo++ GNSMART. Эффективная работа системы достигается с помощью выбора моделей приемников и их расположения на местности.

Целью работы является сравнение приемников, имеющихся на предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск» и выбор оптимального расположения приемников на местности. Выбор приемников для работы в системе позволит получать более точные координаты приемника, тем самым обеспечить ликвидацию опасных ситуаций в случае возникновения смещения земной коры относительно участка газопровода.

Предприятие ООО «Газпром трансгаз Томск» в системе Geo++ GNSMART использует приемники IGS GR110 и NovAtel DL-V3. Но также, были закуплены несколько приемников Trimble NetR9, которые в данный момент не используются.

Был проведен сравнительный анализ приемников IGS GR110, NovAtel DL-V3 и Trimble NetR9.

Наилучшие параметры имеют приемники Trimble Net R9. Количество каналов – 440, что обеспечивает быстрое определение первоначального расположения, более высокую точность, отслеживание всех запущенных спутников (IGS GR110 – 120, NovAtel DL-V3 – 72), высокая ударостойкость (выдерживает падения с высоты 2 м на твердую поверхность), выбор коммуникационных портов – RS-232, DB9, Lemo 7, Mini B USB (хост/клиент), RJ45.

Приемники IGS GR110 обладают большим спектром частоты записи от 1 до 500 Гц (Trimble Net R9 – от 1 Гц до 50 Гц, NovAtel DL-V3 – 20 Гц), небольшим весом – 0,31 кг, выбором коммуникационных портов – RS-232, RS-422, RS-485, CAN.

Приемники NovAtel DL-V3 обладают различным диапазоном рабочих температур – от -40°C до $+75^{\circ}\text{C}$ (Trimble Net R9 – от -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$, IGS GR110 – от -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$), наличием встроенной памяти, выбором коммуникационных портов – RS-232, RS-422, Bluetooth, Ethernet, USB.

Выигрывая по характеристикам, приемники Trimble Net R9 проигрывают в высокой стоимости аппаратных средств. Но, использование данных приемников невозможно без необходимого ПО, которое постоянно требует обновления, что усложняет их использование в системе.

Чем большая территория охватывается сетью, тем больше должно быть опорных пунктов. Если есть подозрение, что координаты опорного пункта ошибочны, также следует добавить опорные пункты. Чем больше опорных пунктов, тем больше избыточность, и тем легче выполнить проверку точности координат. Желательно, чтобы количество опорных пунктов составляло не менее 10% от общего количества пунктов в сети [1].

1. Метод квадрантов

Если объект наблюдения расположен в ширину, то для эффективной работы системы, возможно использование метода квадрантов. Необходимо разделить наблюдаемую зону, в которой находится объект наблюдения на 4 части, получив 4 квадранта. В общем виде, если по периметру наблюдаемого объекта возможно разместить от 12 подвижных приемников на расстоянии 600 км друг от друга. Каждый из опорных пунктов должен находиться на или вне области, охватывающей опорные станции. Каждый опорный пункт должен быть связан вектором базы, по меньшей мере, с тремя пунктами сети. Каждый третий определяемый пункт должен иметь минимум три независимых вектора базы.

2. Метод коридора

Если сеть образует ход или коридор, два опорных пункта должны быть размещены на каждом краю области сети, а третий опорный пункт - посередине хода. Каждый опорный пункт должен быть связан вектором базы, по меньшей мере, с двумя пунктами хода, причем с ближайшими. Три вектора к каждому опорному пункту дадут достаточно информации для поиска данных. Каждый определяемый пункт должен иметь минимум два независимых вектора базы.

На предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск» ведется слежение за трубопроводом, расположенным в длину. Соответственно, метод коридора оптимальный для расположения приемников.

Для введения в систему приемников Trimble NetR9 необходима покупка дополнительного дорогостоящего ПО. Приемники IGS GR110 и NovAtel DL-V3 обладают хорошими техническими характеристиками, ко-

торые позволяют системе Geo++ GNSMART функционировать в полной мере, но покупая большее количество приемников. Для оптимального расположения базовых и подвижных приемников друг относительно друга для предприятия ООО «Газпром трансгаз Томск» подходит метод коридора. Потому что объект, за которым происходит слежение (трубопровод), расположен в длину (образует коридор). С помощью этого метода можно отрегулировать оптимальное соотношение подвижных приемников и базовых, вследствие чего увеличится точность определяемых параметров.

Литература

1. *Jean-Marie Zogg*. Основы спутниковой навигации: Краткое руководство. 3-е изд. Switzerland, 2007. 132 с.

АДАПТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.В. Булаев^{1,2}, А.Ф. Шориков¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова», Екатеринбург, Россия
bulaev1991@mail.ru, afshorikov@mail.ru

Для класса нелинейных динамических систем, линейных по управлению, предлагается подход к синтезу управления для решения терминальной задачи, основанный на идее адаптивной коррекции программного управления. Процедура построения программного управления подразумевает переход от исходной непрерывной нелинейной управляемой системы к дискретной линейной, и основана на аппарате построения прямых и обратных областей достижимости [3, 4, 5].

Рассматриваемый подход к решению терминальной задачи управления можно применить для нелинейных динамических систем, динамика которых описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений с непрерывно дифференцируемой по состоянию правой частью. Ограничения на управление и состояние предполагаются геометрическими и рассматриваются как выпуклые, замкнутые и ограниченные многогранники с конечным числом вершин. Под эти требования подпадают, например, уравнения, описывающие движение ракеты-носителя [1] или орбитальное движение спутника [2].

В рамках доклада приведены результаты численного моделирования, приводятся результаты сравнительного анализа программного и адаптивного управления.

Литература

1. *Абгарян К.А., Калязин Э.Л., Мишин В.П.* Динамика ракет. М. : Машиностроение, 1990. 464 с.
2. *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Мартынов А.И.* Методы теории систем в задачах управления космическим аппаратом. М. : Машиностроение, 1981. 254 с.
3. *Красовский Н.Н.* Управление динамической системой. М. : Наука, 1985. 520 с.
4. *Тюлюкин В.А., Шориков А.Ф.* Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
5. *Shorikov A.F., Bulaev V.V.* A modification of the generalized recursion method of the linear control systems reachable sets computation // Proceedings of 3rd Russian Conference “Mathematical Modeling and Information Technologies”. Yekaterinburg : Ural State University of Railway Transport, 2016. Vol. 1825. P. 88–94.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СБЛИЖЕНИЕМ ДВУХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Ю. Горанов¹, А.Ф. Шориков²

¹ АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова», Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
goranovayu@mail.ru, afshorikov@mail.ru

Проблема управления сближением двух космических аппаратов на околоземной орбите или орбите какого-либо другого небесного тела уже давно представляет собой одну из важнейших и сложных научно-технических проблем [1, 2]. В настоящее время большое распространение получили подходы, при которых для

решения задач оптимального управления в условиях неопределенности требуется информация о вероятностных характеристиках основных параметров объекта управления, а также выполнение очень жестких требований, которые зачастую оказываются невыполнимыми [3]. В связи с этим, в данном докладе предлагается детерминированный подход к решению задачи оптимального терминального управления, который базируется на применении аппарата построения и анализа точных областей достижимости линейных дискретных динамических систем и позволяет рассматривать неопределенность параметров в качестве ограниченного множества их возможных значений.

В представленном докладе в качестве исходной динамической модели принимается нелинейная система дифференциальных уравнений, описывающих динамику относительного движения двух космических аппаратов в центральном поле тяготения Земли. Описываемый в работе метод решения задачи оптимального терминального управления предполагает переход от исходной непрерывной нелинейной модели к ее линейной дискретной аппроксимации и решение последовательных одношаговых задачи оптимального программного терминального управления для системы линейных рекуррентных уравнений с использованием общего рекуррентного метода [4, 5].

В заключительной части доклада на основе разработанного авторами комплекса подпрограмм приводятся результаты численного моделирования, которые иллюстрируют эффективность описанного способа решения задачи оптимального терминального управления сближением двух космических аппаратов.

Литература

1. Анпазов Р.Ф., Сытин О.Г. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли. М. : Наука, 1987. 440 с.
2. Ермилов А.Ю., Иванова Е.Е., Пантюшин С.В. Управление сближением космических аппаратов. М. : Наука, 1977. 448 с.
3. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Мартынов А.И. Методы теории систем в задачах управления космическим аппаратом. М. : Машиностроение, 1981. 256 с.
4. Тюлюкин В.А., Шориков А.Ф. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной динамической системы // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
5. Шориков А.Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 1997. 242 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАССЕЯНИЯ НА ДВУХ ЭЛЛИпсоИДАХ

А.Г. Дмитренко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
dmitr@fpmk.tsu.ru

Значительный интерес для исследователей представляет изучение рассеяния электромагнитных волн структурами, образованными совокупностью идеально проводящих тел, имеющих размеры, сравнимые с длиной волны. Этот интерес обусловлен необходимостью решения ряда практически важных проблем, например, таких, как проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, радионавигации, дефектоскопии, радиолокационной заметности и идентификации объектов. Частным случаем задачи электромагнитного рассеяния совокупностью тел является задача рассеяния на двух телах. Анализ имеющейся в распоряжении автора литературы показывает, что к настоящему времени решены задачи электромагнитного рассеяния только на структурах из двух идеально проводящих тел, обладающих осевой симметрией (симметрией вращения). Например, в работе [1] решена задача электромагнитного рассеяния на двух соосных сферах, а в работе [2] – на двух соосных сфероидах. Это объясняется тем, что использование осевой симметрии позволяет свести пространственную задачу к более простой плоской задаче.

В данном докладе речь идет о решении более сложной задачи рассеяния электромагнитной волны на структуре из двух идеально проводящих тел, когда тела структуры и структура в целом не обладают симметрией вращения, а именно, задачи рассеяния на двух трехосных эллипсоидах. В основе решения лежит предложенный ранее в работах [3, 4] общий метод решения задач электромагнитного рассеяния на структурах из конечного числа гладких идеально проводящих тел с произвольной формой поверхности. В соответствии с общими идеями этого метода искомое рассеянное поле представлено в виде суммы полей пар вспомогательных элементарных электрических диполей с неизвестными дипольными моментами, размещенных на вспомогательных поверхностях, выбранных внутри эллипсоидов. В каждой точке размещения вспомогательные диполи ориентированы тангенциально по отношению к вспомогательной поверхности. Такое представление рассеянного поля удовлетворяет уравнениям Максвелла и условиям излучения на бесконечности. Неизвестные дипольные моменты определяются путем решения системы линейных алгебраических уравнений, полученной из граничных условий методом коллокаций.

Использованный для решения задачи метод реализован в виде компьютерной программы для расчета компонент рассеянного поля и контроля точности полученного решения. Выполнено сравнение полученных результатов с известными результатами для структуры, состоящей из двух сфер. Особое внимание уделено ис-

следованию влияния отклонений формы структуры от осесимметричной на ее сечения рассеяния. В результате этих исследований установлено, что отклонение формы структуры от осесимметричной в рассмотренных пределах почти не влияет на бистатистические сечения рассеяния в направлениях, прилегающих к направлению прямого рассеяния, и в направлениях, прилегающих к направлению обратного рассеяния. Для остальных направлений рассеяния наблюдается существенное перераспределение энергии рассеянного поля в пространстве, предсказать которое без проведения численных расчетов не представляется возможным, что оправдывает усилия, направленные на разработку универсальных (пригодных для рассеивателей произвольной формы) методов.

Литература

1. Свешников А.Г., Еремин Ю.А. Численные методы электродинамики. М. : Изд-во МГУ, 1980. Вып. 4. С. 3–7.
2. Sinha B.P., MicPhie R.H. Electromagnetic plane wave scattering by a system of two parallel conducting prolate spheroids // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1983. Vol. 31, № 2. P. 294–304.
3. Дмитренко А.Г., Колчин В.А. Рассеяние электромагнитных волн на структурах из конечного числа трехмерных идеально проводящих тел // Известия вузов. Радиофизика. 2000. Т. 43, № 9. С. 766–772.
4. Дмитренко А.Г., Колчин В.А. Численный метод анализа электромагнитного рассеяния структурами из конечного числа трехмерных идеально проводящих тел // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46, № 3. С. 277–282.

ВИЗУАЛЬНО-ИНТЕРАКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ МНОГОМЕРНОСТИ

Б.С. Добронев, О.А. Попова, Д.Б. Пархоменко

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
BDobronets@yandex.ru

Работа посвящена разработке визуально-интерактивной системы для решения задач визуализации и анализа многомерных данных. Визуальная аналитика предоставляет удобные средства для решения задач анализа многомерных данных. Визуальная аналитика (Visual Analytics) представляет собой объединение методов и подходов, таких как научная визуализация (Scientific Visualization), визуализация информации и информационных процессов (Information Visualization), анализ многомерных данных (Multivariate Data Analysis). За последнее десятилетие анализ многомерных данных стал одним из основных направлений прикладной математики, активно развивающимся и применяющимся практически во всех областях исследований. «Анализ многомерных данных – это совокупность методов и алгоритмов, позволяющих получить максимально возможную информацию о массиве числовых данных, расположенных в некоторой области многомерного пространства».

Целью визуально-интерактивного моделирования является обеспечение поддержки принятия оперативного и точного решения человеком. Визуальная аналитика объединяет различные методы и технологии во всех интегрируемых ею дисциплинах с целью максимально эффективного обеспечения взаимодействия «человек-компьютер». Общая цель визуально-интерактивного моделирования – исследование многомерного объема данных и получение максимально возможной информации об изучаемом облаке данных и обеспечение максимального понимания происходящих в нем процессов. Визуальная аналитика призвана организовать человеко-машинный интерфейс, усиливающий человеческие аналитические способности с помощью следующих методов:

- расширение оперативной памяти человека за счет использования визуализации;
- размещение информации в пространстве в соответствии с временными соотношениями;
- организация управляемой среды для работы пользователя в пространстве параметрических значений;
- организация визуального представления и интерфейсов, обеспечивающих человеку возможность сразу видеть, исследовать и понимать огромные информационные объемы.

Для числа измерений $n = 1, 2$ реализация визуального анализа данных не представляет особой сложности, потому что человек, обладает двумерным зрением и укладывающимися в сознание геометрическими образами и представлениями для пространств с числом измерений $n < 3$. Для многомерных пространств с числом измерений $n > 3$ подобных геометрических образов у человека нет. Следовательно, необходимо осуществлять проецирование во вложенные пространства со стандартным числом измерений.

Основной особенностью предложенного подхода визуально-интерактивного моделирования многомерных пространств с числом измерений $n \geq 3$ является динамическое представление 2D моделей сечений исследуемых данных. Эффект многомерности достигается за счет выбора 2D моделей, вариативности направлений динамических сечений и использование возможностей стереоскопического зрения. Второй особенностью – использование численного вероятностного анализа [1, 5, 6, 7].

Литература

1. Добронев Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ неопределённых данных. Красноярск : Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий, 2014. 168 с.

2. Масленников О.П., Мильман И.Е., Сафиуллин А.Э., Бондарев А.Е., Низаметдинов Ш.У., Пилюгин В.В. Разработка системы интерактивного визуального анализа многомерных данных // Научная визуализация. 2014. № 4. С. 30–49.
3. Qinyu Zhang, Richard S. Segall, Mei Cao. Visual Analytics and Interactive Technologies: Data, Text and Web Mining Applications. New York : Information Science reference, 2011. 363 p.
4. Dill J. Expanding the Frontiers of Visual Analytics and Visualization. London : Springer-Verlag, 2012. 555 p.
5. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Journal of Siberian Federal University Mathematics and Physics. 2017. Vol. 10, № 1. P. 16–21.
6. Dobronets B.S., Popova O.A. The numerical probabilistic approach to the processing and presentation of remote monitoring data // Journal of Siberian Federal University Engineering and Technologies. 2016. Vol. 9, № 7. P. 960–971.
7. Попова О.А. Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции // Вычислительные технологии. – 2017. Т. 22, № 2. С. 99–114.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАТНЫМ ОПТИЧЕСКИМ СТОЛОМ*

М.А. Иванов, И.С. Мусоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
Ivanov.9090@yandex.ru

На сегодняшний день оптические устройства диагностики и контроля обладают высокой точностью, в том числе за счет использования высокоточного лабораторного оборудования [1, 2]. Разработка современного высокоточного оборудования для позиционирования оптических элементов схемы является весьма актуальной задачей. От технических параметров системы позиционирования зависят: точность измерений, надёжность конструкции, габариты, масса и стоимость прибора [3]. Одним из применений системы позиционирования является использование ее в схемах активных оптических систем. Данные системы позволяют осуществлять визуализацию процессов в условиях мощной фоновой засветки [4, 5]. Для повышения качества визуализации и диагностики в таких системах необходимо осуществлять точное позиционирование объекта исследования относительно оптических элементов схемы [5].

На рис. 1 представлена структура устройства позиционирования.

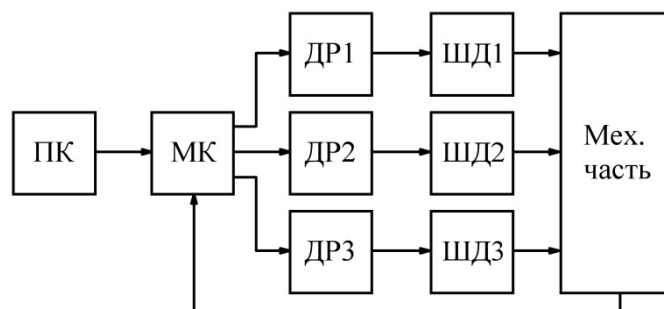


Рис. 1. Структурная схема устройства позиционирования:
ПК – персональный компьютер, МК – микроконтроллер, ДР – драйвер, ШГ – шаговый двигатель

Представленная на рис. 1 система позволяет осуществлять позиционирование по трем осям. ПК передаёт необходимые координаты на микроконтроллер (STM8S003K), который с помощью драйверов управляет тремя шаговыми двигателями. Двигатели в свою очередь приводят в движение механическую часть координатного стола. Разрабатываемое программное обеспечение позволит задавать необходимые координаты, что повысит точность позиционирования и повторяемость экспериментов.

Таким образом, представленная в данной работе система позиционирования будет использоваться при разработке макета активной оптической системы (лазерного монитора), обеспечивая повышенную точность и качество диагностики объектов и процессов, посредством таких систем.

Литература

1. Лопарев А.В., Зензинов А.Б., Игнатьев П.С., Индукаев К.В., Осипов П.А., Ромаиш Е.В. Лазерная модуляционная интерференционная микроскопия оптических поверхностей // Оптический журнал. 2012. Т. 79, вып. 6. С. 72–78.
2. cyberleninka.ru. Технология создания элементов компьютерной оптики. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/lazernyy-postroitel-shablonov-kinofornnyh-opticheskikh-elementov>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 09.04.2018).

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

3. darxton.ru. ЧПУ станок своими руками. URL: <https://darxton.ru/wiki-article/chpu-stanok-svoimi-rukami-chast-1-vvedenie/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения 09/04/2018).
4. *Торгаев С.Н., Карюгин К.Л., Тригуб М.В.* Электронное устройство для переноса изображения с помощью лазерного проекционного микроскопа // Вестник науки Сибири. 2014. Т. 11, № 1. С. 40–45.
5. *Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyarov D.V.* Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // Review of Scientific Instruments. 2014. Vol. 85, is. 3. Article number 033111. P. 1–5.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО АДАПТИВНОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

А.Ф. Шориков¹, В.И. Калёв^{1, 2}

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова», Екатеринбург, Россия
afshorikov@mail.ru, v.i.kalev@urfu.ru

В докладе рассматривается задача терминального управления расходом топлива ракеты-носителя [1, 2]. Для описания динамики объекта управления используется типовая модель расхода топлива ракеты-носителя, представленная системой нелинейных дифференциальных уравнений. Линеаризуя уравнения динамики системы относительно заданной опорной траектории, исходной нелинейной дифференциальной системе ставится в соответствие линейная дискретная управляемая динамическая система. Рассматривается выпуклый терминальный функционал, оценивающий качество расхода топлива. Предполагается, что ограничения на фазовое состояние ракеты-носителя и управляющее воздействие, обусловленные техническими требованиями, имеют вид выпуклых, замкнутых и ограниченных многогранников с конечным числом вершин в соответствующих конечномерных векторных пространствах. Для сформированной линейной дискретной динамической системы при сделанных допущениях об ограничениях формализуются задачи оптимального программного терминального управления и оптимального адаптивного терминального управления. Предполагается также, что решения поставленных задач оптимизации терминального управления сформированной линейной дискретной динамической системой будут достаточно близкими к соответствующим решениям аналогичных задач для исходной дифференциальной системы.

Предлагаемый в работе подход к решению задачи оптимального программного и адаптивного терминального управления, основывается на идеях и методах, развиваемых в работах [3–7]. При этом решение задачи оптимизации адаптивного управления сводится к последовательности решений задач оптимизации программного терминального управления линейной дискретной управляемой динамической системой. В свою очередь многошаговая задача оптимизации программного терминального управления, то есть задача нахождения множества всех оптимальных допустимых программных управлений, может быть сведена к последовательности решений только одношаговых задач линейного и выпуклого математического программирования. При решении этой задачи также используется аппарат построения точных областей достижимости линейной дискретной управляемой динамической системы, описанный в работах [6, 7].

Для демонстрации эффективности предлагаемого подхода, в рамках доклада приводятся результаты численного моделирования решения задачи оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива ракеты-носителя.

Литература

1. *Калёв В.И., Шориков А.Ф.* Моделирование задачи терминального управления расходом топлива жидкостных ракет // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59, № 8-2. С. 45–48.
2. *Петров Б.Н., Портнов-Соколов Ю.П., Андриенко А.Я., Иванов В.П.* Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории). М. : Машиностроение, 1983. 200 с.
3. *Красовский Н.Н.* Управление динамической системой. М. : Наука, 1985. 520 с.
4. *Шориков А.Ф.* Об одном классе нелинейных многошаговых задач управления-наблюдения. I, II // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1982. № 4. С. 19–25; 1983. № 3. С. 11–16.
5. *Шориков А.Ф.* Минимаксное позиционное управление процессом идентификации в нелинейных многошаговых системах // Автоматика и телемеханика. 1987. № 2. С. 74–88.
6. *Тюлюкин В.А., Шориков А.Ф.* Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
7. *Шориков А.Ф.* Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. 242 с.

О ВЫБОРЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХОДНЫХ ОТКЛИКОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

С.Г. Мосин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
smosin@ieee.org

Диагностика неисправностей интегральных схем (ИС) – важный этап производственного цикла, обеспечивающий выявление места возникновения неисправностей в ходе тестирования и гарантирующий высокое качество партии ИС на выходе. Тестирование и диагностика аналоговых ИС представляют существенную функциональную сложность по сравнению с цифровыми ИС [1]. Во многом этому способствуют непрерывный характер обрабатываемых сигналов, сложные нелинейные зависимости входных и выходных сигналов, допуски на параметры внутренних компонентов, которые случайным образом влияют на отклонения параметров и передаточной функции от номинальных значений, чувствительность выходных характеристик к отклонениям внутренних и внешних параметров, возможность возникновения не только катастрофических, но и параметрических неисправностей, отсутствие эффективных моделей аналоговых неисправностей и др.

Существуют два подхода к функциональному тестированию аналоговых ИС: методы на основе соответствия спецификации и на основе моделирования неисправностей. Второй подход получил широкое распространение, поскольку обеспечивает решение задачи не только тестирования, но и диагностики неисправностей [2]. Размерность справочника неисправностей (СН) и механизм последовательного поиска соответствий в структуре СН – слабые стороны данного метода. Развитие инструментов машинного обучения открыло возможность перехода к нейроморфным СН, функционирующим в ассоциативном режиме, архитектура которых не чувствительна к количеству рассматриваемых неисправностей. Выбор параметров, которые будут использованы для обучения нейронной сети, – важная задача, результат которой оказывает существенное влияние на сходимость процесса обучения, его длительность и качество покрытия неисправностей при распознавании откликов тестируемой схемы. Цель предлагаемой работы – поиск и исследование метода выбора существенных характеристик выходного отклика проверяемой схемы на приложенный тестовый сигнал, которые обеспечивают снижение вычислительных и временных затрат на обучение нейросетевого СН без снижения покрываемости рассматриваемых неисправностей. Для достижения поставленной цели в работе определены и решены следующие задачи: 1) представление непрерывного аналогового сигнала во временной области дискретными значениями в частотной области на основе вейвлет-преобразования; 2) сокращение размерности матрицы коэффициентов вейвлет-преобразования, используемых для обучения нейронной сети, с применением метода главных компонент; 3) программная реализация предложенного метода выбора существенных характеристик выходных откликов; 4) экспериментальное исследование показателей обучения нейроморфного СН с применением входных векторов различной длины; 5) анализ полученных результатов.

В результате вейвлет-преобразования непрерывный выходной отклик представляют кортежем коэффициентов масштабирования a и сдвига b : $x = [a; b]$, а множество рассматриваемых откликов – матрицей коэффициентов вейвлет-преобразования $\mathbf{X} = [x_i], i = 1..N, \mathbf{X} \subset \mathfrak{R}_{N \times M}$. Применение метода главных компонент (МГК) обеспечивает сокращение числа используемых коэффициентов для обучения нейронной сети ($\hat{M} < M$).

МГК реализуется итерационной процедурой, в которой новые компоненты (PC – principal components) добавляются последовательно друг за другом [3]. Важно определить, когда остановить данный процесс, и выбрать достаточное число главных компонент. При малом количестве PC совокупная выборка данных будет неполной, при большом – возникает переоценка. Определен критерий выбора достаточного количества PC :

$$\operatorname{argmin}_{PC} (ERV_{PC} \geq ERV_{TH}),$$

где ERV_{PC} – объясненная дисперсия; ERV_{TH} – пороговое значение.

Экспериментальные исследования были выполнены для схемы аналогового фильтра на операционных усилителях с помощью разработанной программной реализацией. Полученные результаты продемонстрировали эффективность предложенного метода выбора существенных характеристик выходных откликов, что отражено в сокращении временных и вычислительных затрат на обучение. Полученный в результате нейроморфный СН обеспечивает до 100% покрываемости неисправностей.

Литература

1. Мосин С.Г. Анализ методов тестопригодного проектирования аналоговых и смешанных ИС // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2007. № 1. С. 59–64.
2. Мосин С.Г. Тестирование аналоговых схем с использованием нейросетевого сигнатурного анализатора // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 10. С. 3–8.
3. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis. Springer, 2002. 488 p.

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ АИС ВМП

С.В. Поршнев, А.М. Бородин, О.А. Пономарева, С.Г. Мирвода

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
o.a.ponomareva@urfu.ru

Современные российские металлургические предприятия реализуют полный цикл металлургического производства (МП) «руда – металл – прокат».

Технологический процесс МП включает в себя следующие этапы (передель): подготовка сырья, доменное производство, конверторное производство, производство металлопродукции. В процессе МП происходит преобразование сырья, получаемого с предыдущего передела, и, соответственно, информации, относящейся к данному переделу. Максимально точная информационная модель единицы продукции (ЕП) МП представляет собой совокупность всех информационных параметров (ИП) материальных и информационных потоков на каждом переделе МП:

$$EP_i = \cup \{IP_1^i, IP_2^i, IP_3^i, IP_4^i, ti\},$$

где EP_i – i -я единица продукции; IP_1^i, \dots, IP_4^i – совокупность ИП переделов 1...4 соответственно; ti – время появления единицы продукции EP_i .

Основными объектами учета автоматизированной информационной системы является единица продукции (ЕП), которая обрабатывается на технологических переделах. Каждая ЕП имеет определенный тип. Будем называть жизненным циклом ЕП время, в течение которого ЕП физически существует – от момента создания до момента уничтожения или отгрузки (как объект учета системы ЕП продолжает существовать произвольно долго).

Одна из задач автоматизированной системы – непротиворечивый сквозной учет ЕП с протоколированием всех событий и сбором атрибутов. Для этого необходимо, чтобы каждая ЕП имела внутрисистемный глобальный идентификатор, соответствующий ей в течение жизненного цикла. Данное требование обеспечивается за счет использования GUID (Globally Unique Identifier) – глобально уникальных идентификаторов. Механизм создания GUID гарантирует уникальность создаваемого идентификатора с низкой вероятностью совпадения (порядка 10⁻³⁷).

Автоматизированная информационная система сбора и анализа данных производства (АИС САД) обеспечивает сбор, хранение и предоставление информации пользователям. Хранилище данных (ХД), в которой интегрируется информация о единицах продукции (ЕП) с помощью метода динамических горизонтальных таблиц (wide tables [2]). Сбор параметров ЕП получаемых от источников данных ведется с помощью средств системы АИС ВМП. Источниками данных являются все поставляющие информацию компоненты – как самой системы, так и из окружающей ее информационной среды (агрегаты, АСУ ППП и т.д.). Все данные, собираемые источником, должны привязываться к идентификатору источника единицы продукции (ID ЕП). Для того, чтобы избежать большого количества избыточных таблиц по сопоставлению идентификаторов логично использовать идентификаторы ЕП таким образом, что идентификатор ЕП возникает в месте возникновения информации о ЕП и может быть сгенерирован в распределенной системе с гарантией уникальности. Эта задача может быть решена использованием Universally Unique Identifier (UUID, GUID) [3] – это стандарт идентификации, используемый в создании программного обеспечения, стандартизированный Open Software Foundation (OSF) как часть Распределенного компьютерного окружения (DCE). Основное назначение UUID идентификация информации без обращения к центру координации.

Для реализации подхода, необходимо решить задачу разделения табличного пространства. Табличные пространства отражают места хранения данных на физических носителях. Система Oracle хранит данные логически и физически. Логические в табличных пространствах, а физические – в файлах данных, связанных с определенным пространством.

Распределение данных по сети обеспечивает хранение больших (порядка петабайта) массивов информации. В части собираемых параметров ЕП структура БД. Для обеспечения независимости узлов и возможности различного направления распространения информации в качестве идентификатора можно использовать UUID, генерируемый в месте возникновения информации.

Литература

1. GUIDs as PRIMARY KEYS and/or the clustering key. URL: <http://www.sqlskills.com/blogs/kimberly/guids-as-primary-keys-and-or-the-clustering-key/>
2. Daniel J. Abadi. Column Stores For Wide and Sparse Data // 3rd Biennial Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR), MIT. 2007. P. 292–297.
3. A Universally Unique Identifier (UUID) URN Namespace. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc4122> // Request for comment, Internet society. 2005.
4. Поршнев С.В., Пономарева О.А. и др. Автоматизированная система выпуска металлургической продукции: от разнородных баз данных к созданию единого хранилища данных // принята в печать журнала «Автоматизация. Современные технологии».

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

А.О. Почуфаров, Р.В. Зоголь, А.Д. Брагина, Д.В. Шадрин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
pochufarov.ant@mail.ru, euroman10@mail.ru, alina_bragina_tomsk@mail.ru, shadivl95@gmail.com

Цифровые интегральные микросхемы применяют в устройствах обработки дискретной информации электронно-вычислительных машин (ЭВМ), системах автоматики и т.п. [1] Потребитель заинтересован в поставках качественной элементной базы. Ведь отказ в работе одного компонента может привести к катастрофическим последствиям. Поставщик не всегда гарантирует качества поставляемых компонентов и не может служить критерием оценки работоспособности того или иного элемента. Не имея в своём распоряжении измерительного и испытательного оборудования, потребитель зачастую ограничивается лишь проверкой внешнего вида компонента. Однако для каждого элемента должен быть проведён комплекс испытаний на соответствие требуемым характеристикам. Поэтому необходимо иметь устройство способное протестировать необходимый элемент.

Существующее на сегодняшний день тестовое оборудование для контроля качества цифровых микросхем не удобно для частного пользования, так как имеют большие массогабаритные параметры и сложность в эксплуатации, или же наоборот, малые размеры, но возможность тестирования только определённой серии микросхем. [2].

Для того чтобы исключить данные недостатки, была разработана следующая структурная схема прибора для тестирования цифровых микросхем (рис. 1).

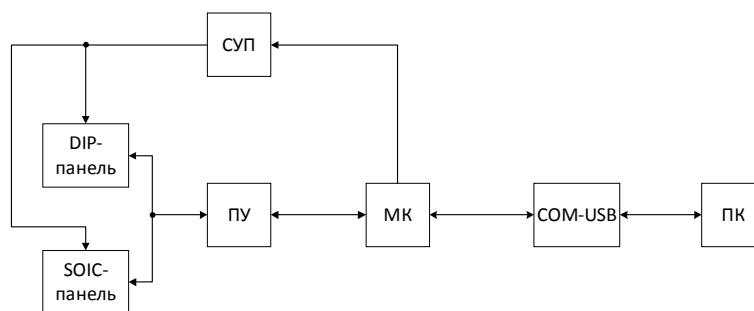


Рис. 1. Структурная схема устройства

Разрабатываемый прибор для тестирования цифровых микросхем будет состоять из макета, включающего в себя DIP-панель, SOIC-панель, микроконтроллер (МК) и преобразователь USB-UART (COM-USB), а также системы управления питания (СУП) для подключенных микросхем и преобразователь уровня (ПУ). Работа устройства будет происходить следующим образом: пользователь на персональном компьютере (ПК) с помощью специального программного обеспечения (ПО) выбирает необходимую микросхему. После этого выбранные пользователем данные отправляются с ПК на микроконтроллер. Для согласования уровней напряжения USB персонального компьютера и TTL-логики необходим специальный преобразователь USB-COM. После получения необходимых данных МК отправляет тестовые сигналы на DIP-панель или SOIC-панель. Если логические уровни напряжений МК и микросхемы отличаются, то используется преобразователь уровней напряжения (ПУ). Далее МК считывает с необходимых ножек выходные сигналы с микросхем и проверяет правильность их работы. Таким образом, МК проверяет таблицу истинности цифровой микросхемы. После этого необходимо отправить результат тестирования в ПК и отразить его в рабочем окне программы. Из-за разного уровня питающего напряжения разных логик была спроектирована система управления питанием, состоящая из двух источников вспомогательного питания +5 В и +15 В и реле для переключения между этими источниками. МК не только управляет реле, но также и подключает необходимую ножку микросхемы к источнику

На данный момент уже разработаны необходимые команды для проверки простых логических микросхем. Для примера была выбрана схема К155ЛН2 – шесть инверторов в одном корпусе. Разработан алгоритм, по которому будет происходить тестирование данной микросхемы. Так же параллельно будет начата разработка принципиальной схемы и программного обеспечения.

Литература

1. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы : справочник 2-е изд., испр. М.: Радио и связь, 1989. 350 с.:ил.
2. Магеррамов Р.В. Использование контрольно-диагностических стендов для тестирования микросхем // Молодой ученый. 2016. № 17. С. 53–57.
3. Strunz B. Design for Testability in Digital Integrated circuits. URL: http://www.cs.colostate.edu/~cs530/digital_testing.pdf. (Date of access: 2015).

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИСТОЧНИКОМ ДЛЯ НАКАЧКИ АКТИВНЫХ СРЕД НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ*

М.И. Самолутченко, И.С. Мусоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
msamolutchenko@gmail.com

В настоящее время активные оптические системы находят весьма широкое применение в различных сферах деятельности человека: научные исследования, промышленность, вооружение, медицина. И первоочередной задачей для специалистов, занимающихся разработкой таких систем, является их совершенствование, поиск новых областей применения. Активные оптические системы, построенные на основе усилителей яркости на парах металлов, обладают рядом достоинств: высокая спектральная яркость излучения, высокое усиление в узком спектральном диапазоне (2-5 пм), работа в импульсно-периодическом режиме [1]. Последнее, в частности, существенно упрощает управление характеристиками излучения. Следовательно, построение активных оптических систем с усилителями яркости на парах металлов является оптимальным решением с учётом возможности дальнейшего внедрения таких систем в различные сферы деятельности человека [2].

Накачка активных оптических сред на парах металлов осуществляется высокочастотными импульсами малой длительности и большой амплитуды. Существует большое количество схем формирователей высоковольтных импульсов для активных сред на парах металлов [3-5]. Для эффективной работы формирователей импульсов необходима разработка высоковольтного источника напряжения, способного работать в условиях достаточно сильного изменения нагрузки. Это связано с тем, что схема замещения активной среды весьма сложна и ее характеристики меняются в процессе работы в достаточно широком диапазоне. Следовательно, разработка высоковольтных источников питания с высоким КПД, специально предназначенных для накачки активных сред на парах металлов, является актуальной задачей.

Данная работа посвящена разработке системы управления высоковольтным источником напряжения, применяемого в задачах визуально-оптического контроля. Система управления реализована на базе микроконтроллера STM32F407VG. С использованием данного микроконтроллера, за счет наличия модуля плавающей точки, возможно построение достаточно точного алгоритма регулирования, в частности, реализация пропорционального интегрального дифференциального регулятора (ПИД регулятор). Богатая периферия данного микроконтроллера позволяет разработать единую систему управления всех функциональных блоков высоковольтного источника, включая системы отображения и регулирования.

Литература

1. Кулагин А.Е., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С., Тригуб М.В. Кинетика активной среды усилителя яркости на парах меди // Известия вузов. Физика. 2017. Т. 60, № 11. С. 122–127.
2. Евтушенко Г.С., Троицкий В.О., Шиянов Д.В., Тригуб М.В., Торгаев С.Н. Бистатистический лазерный монитор // Письма в ЖТФ. 2016. В. 12. С. 51–56.
3. Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Евтушенко Г.С. Высокочастотные активные среды на парах металлов в задачах визуально-оптического контроля // Информационные технологии неразрушающего контроля: сборник научных трудов Российской школы конференции с международным участием. Томск, 27–30 октября 2015 г. Томск : Изд-во ТПУ, 2015. [С. 133–139]. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C111/027.pdf>
4. Мусоров И.С., Торгаев С.Н. Высокочастотный усилитель яркости на парах бромида меди // Инновации в неразрушающем контроле (SibTest 2017) : сборник тезисов IV международной конференции. Новосибирск, 27–30 июня 2017 г. / под ред. А.В. Юрченко. Томск : Изд-во ТПУ, 2017. [С. 41–42]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/43984>
5. Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Фёдоров В.Ф. Полупроводниковые источники накачки CuVг-лазеров // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317, № 4. С. 164–168.

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

СГЛАЖИВАНИЕ ЗАШУМЛЕННЫХ КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ МОДУЛЕЙ*

В.А. Сурин¹, А.Н. Тырсин²

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
sva13t@yandex.ru, at2001@yandex.ru

Повышение качества цифрового изображения – одна из важнейших задач цифровой обработки изображений. Она решается в основном с помощью различных алгоритмов фильтрации изображений. Несмотря на многообразие алгоритмов цифровой фильтрации, одной из актуальных проблем при этом является подавлении шума в контрастных изображениях, т.к. наряду с резким перепадом яркости изображения присутствует еще и негауссовость шума [1]. Это существенно усложняет процедуру подавления шума. В докладе описан новый подход для фильтрации зашумленных контрастных изображений.

В [2] было предложено использовать для фильтрации контрастных изображений нелинейное сглаживание на основе обобщенного метода наименьших модулей (ОМНМ). В [3] данный подход был формализован и описана модель нелинейного фильтра на основе ОМНМ. В этой модели было предложено использовать в качестве функции потерь

$$\rho(x) = \operatorname{arctg}\left(|x|^{\alpha} / \beta\right), \quad (1)$$

где $\alpha > 0$ и $\beta > 0$ – параметры, подбираемые на основе характеристик изображения и перепада, таких как: σ – среднее квадратическое отклонение (уровень) шума в выбранной области изображения; A – нижняя граница уровня яркости перепада; B – верхняя граница уровня яркости перепада; $h = B - A$ – разница между верхней и нижней границами яркости перепада (степень контрастности перепада).

Параметры $\alpha = \alpha(\sigma, h, A)$ и $\beta = \beta(\sigma, h, A)$ выбираются так, чтобы линейное отклонение после сглаживания ОМНМ-фильтром с функцией потерь (1) между сглаженным изображением и изображением без шума было минимальным. В результате получили формулы для оценок α и β [3]:

$$\alpha = \begin{cases} 0,7, & A = 0, \\ 0,7 \cdot \left(\frac{3\sigma - A}{3\sigma}\right) + 1,6 \cdot \left(1 - \frac{3\sigma - A}{3\sigma}\right), & 0 < A \leq 3\sigma, \\ 1,6, & A > 3\sigma, \end{cases} \quad \beta = 10 + \frac{\sigma \cdot h}{100}. \quad (2)$$

При работе с реальными изображениями применяем полученный алгоритм после предварительного анализа изображения. Необходимо оценить значения параметров A , B и σ . Для этого локально оцениваем контраст в разных участках изображения, что в свою очередь требует поиска границ таких участков. Поиск границ осуществляем при помощи оператора «Кенни», часто применяемого в компьютерном зрении.

На следующем этапе предложено создавать карту градиента. Сглаживаем зашумленное изображение медианным фильтром с большой апертурой так, чтобы пиксели, попадающие в апертуру, не пересекали границ контраста. Это необходимо для того, чтобы пиксели с одной стороны границы не влияли на пиксели с другой стороны. В таком случае параметры A и B будут выбираться правильно.

Поиск уровня шума в изображении (параметр σ) основывается на сравнении исходного зашумленного изображения и отфильтрованного изображения простым медианным фильтром. Оценка получается путем по-пиксельного сравнения двух изображений. На основе данных о распределении шума [1], имея среднюю яркость изображения и усредненный модуль разности яркостей, вычисляем уровень шума.

Далее определяются параметры α и β по формуле (2). Когда все необходимые параметры будут получены, запускается непосредственно алгоритм фильтрации. Проходя по маске с отмеченными на ней границами контраста, для фильтрации выбираются пиксели в непосредственной близости от границ контраста. Пиксели, которые будут сглажены фильтром, располагаются на расстоянии, не превышающем половины апертуры минус 1 пиксель от границ контраста.

В докладе представлены результаты апробации фильтра на модельных и реальных изображениях.

Литература

1. Сурин В.А., Тырсин А.Н. Исследование свойств цифрового шума в контрастных изображениях // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59, № 8/2. С. 93–96.
2. Tyrsin A.N., Surin V.A. Non-Linear Filtering of Images on the Basis of Generalized Method of Least Absolute Values // CEUR Workshop Proceeding. 2014. Vol. 1197. P. 41–47.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 17-01-00315а.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТА, ОПИСЫВАЮЩЕГО СИСТЕМУ «МИКРОКОНТРОЛЛЕР-ПРОГРАММА»

Ю.Д. Бабенко, М.Л. Громов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
audio2009@gmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com

Развитие микроэлектроники привело к широкому распространению электронных цифровых устройств. Одним из основных управляющих элементов стал цифровой микроконтроллер. Микроконтроллер представляет собой вычислительный элемент малой мощности, обладающий рядом полезных свойств, таких как малые размеры, небольшое энергопотребление, дешевизна и универсальность. Универсальность микроконтроллеров достигается возможностью «вшить» в него нужную в конкретном случае программу, выполняя которую, он будет реализовывать необходимую логику управления. Таким образом, готовый к использованию управляющий элемент на базе микроконтроллера представляет собой аппаратно-программный комплекс. И как любое другое устройство этот комплекс необходимо протестировать перед использованием, чтобы избежать в будущем непредвиденных или нежелательных ситуаций. Один из возможных способов построить тесты для комплекса микроконтроллер-программа – это представить желаемое поведение этого комплекса в виде некоторой формальной модели, а затем воспользоваться известными методами построения тестов для этой модели. Также такая модель должна учитывать временные задержки, а полученные тесты затем можно подать на микроконтроллер.

Один из способов задания конечного автомата – задать упорядоченную пятерку элементов: $A = (S, I, O, T_S, s_0)$, где S – конечное, (непустое) множество состояний автомата; I – входной алфавит; O – выходной алфавит; T_S – множество переходов, s_0 – начальное состояние [1]. Автомат принимает на вход сигналы из множества I , меняет своё состояние и выдаёт на выход сигналы из множества O . Временной автомат с таймаутами – это шестерка $M = (S, I, O, \lambda_S, s_0, \Delta_S)$, где S – конечное непустое множество состояний; I – входной алфавит; O – выходной алфавит; s_0 – начальное состояние; $\lambda_S \subseteq S \times I \times O \times S$ – отношение переходов; $\Delta_S: S \rightarrow S \times (\mathbb{N} \cup \{\infty\})$ – функция таймаутов, где \mathbb{N} – множество натуральных чисел. Если для некоторого состояния s $\Delta_S(s) = (s', n)$, то, попав в состояние s и не получив никаких воздействий в течение n единиц времени, автомат перейдёт в состояние s' .

Поскольку на кафедре ИТИДиС НИ ТГУ хорошо изучены автоматные модели, для которых предложены оригинальные методы построения проверяющих тестов, то в данной работе предполагается использовать конечные автоматы и их расширения для описания спецификаций управляющих элементов на базе микроконтроллера. Однако достаточно серьёзной проблемой становится задача подачи полученных тестов на исследуемое устройство в виду большого объёма данных и утомительности проведения этой процедуры. Поэтому в данной работе ставится цель автоматизации подачи тестовых наборов на микроконтроллер с «вшитой» в него программой [2]. В качестве аппаратной части автоматизации предполагается использовать метод параллельного запуска двух контроллеров (проверяемого и тестирующего) [3], предложенный Андреем Владимировичем Лапутенко, аспирантом кафедры ИТИДиС НИ ТГУ, в своей магистерской диссертации [4].

Доступная реализация на микроконтроллер STM32F407VG, для которой уже есть построенный автомат, описывающий её желаемое поведение, был представлен в работе [4]. Нами были построены полуавтоматы для каждого из блоков данной программы, а затем мы измерили временную задержку при выполнении команд с использованием встроенного в архитектуру ядра ARMv7 микроконтроллера STM32F407VG счётчика. Для расчета задержек при выполнении отдельных блоков программы используется следующий алгоритм. Выполним 100 раз в цикле фрагмент кода, время выполнения которого необходимо измерить. Измерим момент времени (в тактах процессора) до выполнения и после выполнения этого цикла. Разница этих величин даст нам время стократного выполнения фрагмента кода. Разделим эту разность на 100. Повторим процедуру 100 раз и усредним время.

Мы проделали всю процедуру для каждого фрагмента кода и получим все необходимые задержки. Это позволило полностью задать временной автомат, описывающий систему «микроконтроллер-программа». Анализ показал, что автомат в работе [4] построен правильно.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М. : Наука, 1966. 272 с.
2. Лапутенко А.В., Громов М.Л., Торгаев С.Н. Реализация и тестирование системы сигнализации на базе микроконтроллера STM32F407VG // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 8/2. С. 61–64.
3. Громов М.Л., Евтушенко Н.В., Лапутенко А.В. Использование временных автоматов при тестировании киберфизических систем // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 12. С. 174–176.
4. Лапутенко А.В. Реализация, верификация и тестирование управляющих систем на базе микроконтроллеров с использованием временных автоматов : дис. ... магистра радиофизики. Томск, 2016. 59 с.

О ВЛИЯНИИ СОПЕРНИЧЕСТВА ЗА РАЗДЕЛЯЕМЫЕ СВЯЗНЫЕ РЕСУРСЫ НА ДОСТУПНУЮ ПОЛОСУ ПРОПУСКАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Д.Е. Богущевский, П.А. Михеев, П.В. Приступна, С.П. Сущенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ssp.inf.tsu@gmail.com

Важнейшей операционной характеристикой компьютерных сетей является быстродействие транспортных соединений, в значительной мере определяемое соперничеством за полосу пропускания межузловых каналов тракта передачи данных информационных потоков различных абонентов имеющих хотя бы часть общего маршрута. Естественной моделью многозвенного транспортного соединения является сеть систем массового обслуживания. Однако получение содержательного аналитического решения здесь возможно лишь в частных случаях. В то же время основным индикатором «внешней» нагрузки на тракт, в котором проложено исследуемое транспортное соединение, являются размеры очередей перед протокольными блоками данных рассматриваемого соединения в транзитных узлах. Мониторинг такого индикатора позволяет оценить распределение длин очередей в транзитных узлах от внешних по отношению к анализируемому соединению сетевых потоков и использовать при расчете операционных характеристик соединения и выборе протокольных параметров на время сеанса связи между заданной парой абонентов. Существующие модели управляющих процедур транспортного протокола [1,2] не позволяют учитывать нагрузку на разделяемые сетевые ресурсы пропускной способности отдельных межузловых каналов соединительного пути, обеспечиваемую мультиплексированием с другими абонентскими соединениями. В работе предложена математическая модель транспортного соединения, управляемого транспортным протоколом в режиме селективного повтора для произвольных значений длительности тайм-аута ожидания сквозных подтверждений развивающая результаты, полученные в [2,3]. Считаем, что размер окна управляющего протокола определяется величиной W , а $S > W$ – задает длительность тайм-аута ожидания подтверждения корректности доставки данных. Обмен данными между абонентами, соединенными трактом передачи данных моделируется двумерной цепью Маркова с дискретным временем и числом состояний равным длительности сквозного тайм-аута S по одному измерению, а по другому – увеличенной на единицу максимальной длине очереди: $N+1$, описывающей динамику очереди переданных, но не подтвержденных данных в узле-отправителе. В работе получены вероятности состояний цепи Маркова для произвольных значений характеристик тракта передачи данных, индикаторов нагрузки на разделяемые ресурсы транспортного соединения, протокольных параметров размера окна и тайм-аута ожидания сквозных подтверждений. Пропускная способность транспортного соединения, нормированная на физическую скорость передачи данных, определяется отношением среднего объема информации, передаваемой между получением двух последовательных квитанций, к среднему времени получения квитанции:

$$Z(W, S) = F_n F_0 \sum_{n=0}^N \frac{1}{n+1} \left[\sum_{l=2D-1+n}^{W+2D-2+n} (l-2D+2-n) P(l, n) + W \sum_{l=W+2D-1+n}^{S-1} P(l, n) \right].$$

Здесь F_n и F_0 – достоверности передачи информации в прямом и обратном тракте передачи данных соответственно, $P(i, n), i = \overline{0, S-1}, n = \overline{0, N}$ – вероятности состояний цепи Маркова, D – длина транспортного соединения, выраженная в количестве участков преприема. Проведен анализ показателя пропускной способности для трех областей признакового пространства нагрузочных и протокольных параметров, отличающихся содержанием и составом уравнений локального равновесия для состояний цепи Маркова и обусловленных различными соотношениями между протокольными параметрами, длительностью круговой задержки и нагрузочными характеристиками. Первая область для тракта произвольной длины определяется ограничениями снизу: $W \geq 1, S \geq W + N + 2D - 1, N \geq 0$. Вторая и третья области определяются ограничениями интервального типа для длительности тайм-аута получения квитанции $W \geq 2, W + 1 \leq S \leq W + N + 2D - 1, N \leq W - 2$ и $W \geq 2, W + 1 \leq S \leq N + 3, N \geq W - 2$ соответственно. Следует отметить, что третья область признакового пространства характеризуется значительным падением доступной полосы пропускания, обусловленным слишком коротким тайм-аутом, истекающим до завершения длительности круговой задержки при высоких внешних нагрузках конкурентных абонентских потоков.

Литература

1. Сущенко С.П. Математические модели компьютерных сетей. Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2017. 272 с.
2. Кокишев В.В., Михеев П.А., Сущенко С.П. Сравнительный анализ быстродействия селективного и группового режимов повторной передачи транспортного протокола // Автоматика и телемеханика. 2017. № 2. С. 65–81.
3. Кокишев В.В., Михеев П.А., Сущенко С.П. Анализ селективного режима отказа транспортного протокола в нагруженном тракте передачи данных // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 3. С. 78–94.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА ПАРАХ МЕДИ*

А.Е. Кулагин¹, С.Н. Торгаев^{1, 2, 3}, Г.С. Евтушенко¹

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

torgaev@tpu.ru

В настоящее время активные оптические системы находят широкое применение в различных отраслях науки и техники [1]. В частности, в задачах высокоскоростной визуализации процессов взаимодействия высококонцентрированных потоков энергии с веществом [2]. Для получения изображений высокого качества необходимо получение равномерного пространственно-временного профиля излучения/усиления. Существует большое количество факторов, определяющих профиль усиления [3]: схема и условия накачки, плазмохимические процессы в плазме (как в фазе накачки, так и в фазе релаксации), состав активной среды и т.д. таким образом, необходимо проведение комплексных исследований целью которых будет получение оптимальных условий работы активной среды с точки зрения профиля усиления.

Одним из методов исследования характеристик усиления является кинетическое моделирование. Существует ряд работ, направленных на теоретическое исследование энергетических процессов в плазме активных сред на парах металлов посредством моделирования. Однако в них основное внимание уделяется исследованию частотно-энергетических характеристик активных сред на парах металлов. В данной работе представлены результаты разработки подробной кинетической модели активной среды на парах меди, позволяющей проводить анализ усилительных характеристик как в пространстве, так и во времени.

Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих процессы в активной среде. Модель включает в себя уравнения, описывающие изменение концентрации реагентов в плазме, уравнение, описывающее изменение температуры электронов, плотность фотонов на двух линиях излучения во времени и пространстве. Уравнения радиальной модели напоминают аналогичные для нульмерной модели, однако, описываемые ими функции в радиальной модели зависят и от времени, и от радиуса ГРТ, поэтому вместо дифференциальных уравнений одной переменной используются уравнения в частных производных. Подробное описание основных уравнений данной модели представлены в работах [3,4]. На рис. 1 представлены импульсы напряжения на ГРТ, тока через ГРТ (рис. 1, а), импульса излучения (рис. 1, б) и радиальное распределение коэффициента усиления (рис. 1, в) в различные моменты времени.

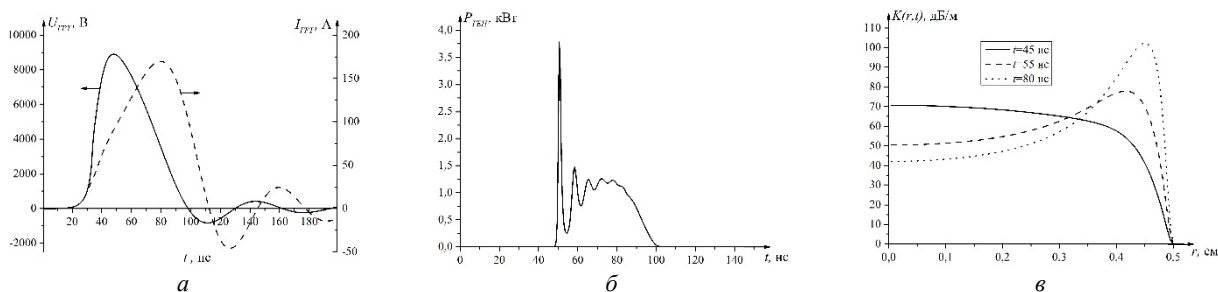


Рис. 1. Диаграммы напряжения на ГРТ (а), тока через ГРТ (а), мощности сверхизлучения (б) и радиальная зависимости коэффициентов усиления активной среды в различные моменты времени (в)

На основе разработанной модели были выявлены причины формирования пространственно-временной неоднородности радиального профиля излучения/усиления. В частности, было показано, что основным фактором радиальной неоднородности является неравномерное распределение по радиусу концентрации электронов. Из-за того, что концентрация электронов на периферии ГРТ меньше, чем в центре, процессы накачки и резонансного, и метастабильного уровней идут медленней, что приводит к запаздыванию в формировании инверсии населенности, когда преобладает процесс накачки верхнего резонансного уровня.

Литература

4. Оптические системы с усилителями яркости / под ред. Г.Г. Петраша // Труды ФИАН. 1991. Т. 206. 152 с.
5. Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyonov D.V. Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // Review of Scientific Instruments. 2014. Vol. 85, is. 3. Article number 033111. P. 1–5.

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

6. Evtushenko G.S., Torgaev S.N., Trigub M.V., Shiyonov D.V., Evtushenko T.G., Kulagin A.E. High-speed CuBr brightness amplifier beam profile // Optics Communications. 2017. Vol. 383. P. 148–152.
7. Kulagin A.E., Torgaev S.N., Evtushenko G.S., Trigub M.V. Kinetics of the Active Medium of a Copper Vapor Brightness Amplifier // Russ. Phys. J. 2018. Vol. 60, № 11. P. 1987–1992.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДУЛЬНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ IOT ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В.В. Хорошев

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
Hvv91@icloud.com

Развитие современных систем регулирования движения поездов требуют соответствующей скорости развития методов диагностирования и построения новейших методов контроля за состоянием устройств. Железнодорожная инфраструктура является неотъемлемой частью организации движения поездов и для ее непрерывной работы необходимо производить проверки технического состояния. Наблюдение за техническим состоянием необходимо производить непрерывно для выявления отклонений в нормативных значениях и для прогнозирования дальнейших развитий предосторожностей.

На сети железных дорог Российской Федерации внедрены системы мониторинга позволяющие измерять электрические и временные параметры устройств инфраструктуры [1]. Все измеряемые параметры выводятся на автоматизированное рабочее место обслуживающего персонала, где специально обученный работник - технолог, следит за этими параметрами. Если происходит отклонение от нормы, то технолог сообщает по телефону о неисправности бригаде, обслуживающей данный объект инфраструктуры. Весь алгоритм действия технолога и ремонтных бригад занимает длительное время и такой метод устранения неисправности нельзя назвать оперативным.

Предлагается внедрение технологии internet of things (IoT) для повышения качества обслуживания и оперативности реагирования персонала [2, 3]. Все больше микропроцессорных устройств инфраструктуры внедряется, но по-прежнему на полигоне ОАО «РЖД» находятся в эксплуатации релейные и механические устройства. Важным аспектом эксплуатации этих устройств является их диагностирование.

Новые разработки в сфере информационных технологий приходят на помощь в решении данной проблемы. Модульная диагностическая платформа на основе IoT позволяет расширить спектр получаемой информации с устройств инфраструктуры [4-6], работникам занятых обслуживанием устройств получать доступ к данной информации удаленно и на месте производства работ, упростить интеграцию и построение сети мониторинга объектов инфраструктуры.

Диагностический модуль представляет собой измерительный контроллер с возможностью анализа измеренных параметров. Все модули увязаны в сеть, информация передается по протоколам беспроводной передачи данных в систему мониторинга. Информация стекается в центр мониторинга для хранения. Анализ измеряемых параметров позволяет не засорять сеть случайными помехами или ошибочными значениями, разгружая канал передачи данных.

У обслуживающего персонала имеется возможность получать диагностическую информацию по беспроводной сети используя смартфон или планшет с доступом к внутренней сети мониторинга инфраструктуры. Использование подобных технологий позволяет в режиме реального времени получать информацию об устройстве без необходимости вскрывать устройство и проводить измерения. При возникновении неисправности в режиме архива возможно восстановление событий приведшим к неисправности, что ускорит расследование неисправности.

В качестве перспективы развития данной системы предлагается интеграция технологий augmented reality (AR) [7]. По средствам встроенной камеры смартфона или планшета, сканировать устройство и на экране получать точки мониторинга. Выбирая точку на экране, будут высвечиваться подсказки по обслуживанию, диагностические данные, а также система будет напоминать о скорой необходимости замены по сроку аппаратуры.

Литература

1. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 171 с.
2. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Дрожжинов В.И., Куприяновская Ю.В., Иванов М.О. Интернет Вещей На Промышленных Предприятиях // International Journal of Open Information Technologies. 2016. № 12. С. 156–161.
3. Fattah S., Sung N.M., Ahn I.Y., Ryu M., Yun J. Building Iot Services For Aging In Place Using Standard-Based Iot Platforms And Heterogeneous Iot Products // Sensors. 2017. Vol. 17, № 10. P. 2311.
4. Rolik O., Telenyk S., Zharikov E. Emerging Trends And Applications Of The Internet Of Things. IGI Global, 2017. P. 198–234.

5. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D. Protocol of Diagnostic Information Transmission via Radio Channel Concerning Health Monitoring of Infrastructure of Russian Rail Roads // Proceedings of 3ed International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), St. Petersburg, Russia, May 16-19, 2017. doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076135.
6. Efanov D., Pristensky D., Osadchy G., Razvitov I., Sedykh D., Skurlov P. New Technology in Sphere of Diagnostic Information Transfer within Monitoring System of Transportation and Industry // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2. 2017. P. 231–236. doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110152.
7. Zuev A.S. The Prospects Of Virtual Reality And Augmented Reality // Interactive Systems: Problems Of Human – Computer Interaction. Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2015. С. 265–270.

БЕСПРОВОДНОЙ ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» С ПОДДЕРЖКОЙ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ

Д.В. Шадрин¹, М.С. Щербаков², А.О. Почуфаров¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
shadiv195@gmail.com

Автоматизация – это направление научно-технического прогресса, которое использует разнообразные математические методы и технические решения для освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенно уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций.

Наиболее ярким проявлением автоматизации в обычной жизни является система, называемая «умный дом». Одним из главных факторов при выборе и разработке таких систем является протокол передачи данных, который используется в устройствах «умного дома». От выбора подходящего протокола будет зависеть архитектура сети, скорость передачи данных, энергопотребление, дальность и надёжность связи, максимальное количество подключенных устройств и стоимость всей системы.

Для удобства и быстроты развёртывания системы лучше использовать протоколы, основанные на беспроводной передаче данных с поддержкой модульной топологии. Но, к сожалению, большая часть таких протоколов не имеет свободной лицензии на использование [1] или реализует псевдо ячеистую топологию [2]. Поэтому целью данной работы является разработка собственного беспроводного протокола передачи данных, поддерживающего модульную топологию сети.

В первую очередь необходимо определиться, в каком частотном диапазоне будет производиться передача данных. Это необходимо не только для обеспечения достаточной скорости передачи, помехозащищённости и пр., но и потому, что согласно решению Государственной комиссии по радиочастотам от мая 2007 г. в Российской Федерации выделены два субгигагерцевых диапазона частот, в окрестностях которых возможно безлицензионное применение радиопередающих устройств – 443 и 868 МГц [3]. В ходе сравнения различных параметров было принято решение использовать диапазон частот 868,7...869,2 МГц. Этот диапазон является оптимальным, так как он обеспечивает необходимую дальность связи даже при условии работы в помещении, является наименее загруженным и обеспечивает высокую скорость передачи (до 500 Кбит/сек).

Система «умного дома» будет состоять из 3-х типов устройств:

- Датчики температуры, влажности, освещения, открытия двери и др.
- Исполнительные устройства – диммер, электрический привод штор, ИК-передатчик и др.
- Хаб – центральное устройство, собирающее данные со всех устройств системы. Он будет хранить в себе сценарии взаимодействия устройств и управления умным домом.

Так как передача данных будет вестись в модульной сети, необходимо обеспечить возможность взаимодействия любого устройства с любым другим. Это обеспечивается как алгоритмом приёма/передачи данных, так и сами пакеты данных. Структура пакета, который будет использоваться в данной системе, показан на рис. 1.

Биты преамбулы	Слово синхронизации	Длина пакета	Идентификатор сети	Номер устройства	Команда	Дополнительные данные	Контрольная сумма
-------------------	------------------------	-----------------	-----------------------	---------------------	---------	--------------------------	----------------------

Рис. 1. Структура пакета данных

В дальнейшем будет осуществлена программная и аппаратная реализация данного протокола, которая определит его работоспособность в реальном мире.

Литература

1. Умный дом – теория и реализация на базе протокола Z-Wave // Iguides.ru. URL: https://www.iguides.ru/main/accessories/umnyy_dom_teoriya_i_realizatsiya_na_baze_protokola_z_wave/, свободный.

2. Умный дом – теория и реализация на базе протокола ZigBee // Iguides.ru. URL: https://www.iguides.ru/main/accessories/umnyy_dom_teoriya_i_realizatsiya_na_baze_protokola_zigbee/, свободный.
3. Приложение к решению ГКРЧ от 20 декабря 2011 года N 11-13-07-1 О внесении изменений в решение ГКРЧ от 7 мая 2007 года N 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОММУТАТОРОВ С ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ АДРЕСАЦИЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИИНТЕРФЕЙСНЫХ СЕТЕЙ В БЛОКАХ СИЛОВОЙ АВТОМАТИКИ

Д.Б. Шахов

Московское опытно-конструкторское бюро «МАРС», г. Москва, Россия
o.r.t.e.g.a@mail.ru

При построении систем управления в настоящее время, как правило, применяется иерархический подход, когда выделяется некоторое вычислительное ядро, решающее основную навигационную задачу, мониторинг исправности и менеджмент резервов и один или несколько блоков управления, решающих задачи согласования ядра с исполнительными органами и датчиками. При этом связь между вычислительным ядром и блоками управления осуществляется при помощи мультиплексного канала информационного обмена по ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553) (далее МКИО). Резервирование в блоках управления и вычислительном ядре выполняется независимо, а перевязка резервов осуществляется как раз по срезу МКИО

В последние годы часто поднимается вопрос о необходимости перехода от шинных интерфейсов, таких как МКИО, к сетевым. Это должно увеличить надёжность систем управления и упростить их интеграцию. Несмотря на то, что предлагаемые решения не всегда бесспорны [1,2], с основным посылом трудно не согласиться.

Структура блоков управления в целом обычно близка структуре системы. Каждый блок управления имеет собственное резервированное вычислительное ядро и набор резервированных исполнительных плат. Связь с исполнительными платами осуществляется, как правило, посредством некоторого шинного интерфейса, в разработках МОКБ «Марс» нашли применение два «фирменных» интерфейса – параллельный и последовательный каналы внешних устройств. Последний, является модификацией интерфейса SPI. Шинная организация интерфейса приводит к тому, что при любом существенном отказе в грани любой исполнительной платы, приходится отключать эту грань во всех исполнительных устройствах. Таким образом, зерно резервирования, то есть минимальный элемент исключаемый при отказе, при такой архитектуре равен целой грани (*каналу*) блока управления, что явно свидетельствует о недостаточной эффективности резервирования.

Улучшить ситуацию можно, перейдя в блоках от шинного интерфейса к сетевому. К сожалению, сетевые интерфейсы, как правило, достаточно сложны и ориентированы на передачу крупных посылок, а не небольших сообщений по 2-4 байта, что характерно при работе с исполнительными устройствами. Другим фактором, мешающим введению сетевой архитектуры в блоки управления, можно назвать большой накопленный работы с шинным интерфейсом, а также развитую элементную базу для работы с ним.

Для решения этой проблемы предлагается ввести дополнительный интерфейсный уровень, образованный коммутаторами, объединёнными в сеть. Коммутаторы имеют простейший интерфейс, обеспечивающий подключение входа к одному из 3х возможных выходов. Адрес каждой грани (*канала*) исполнительной платы в такой сети, задаётся топологически, то есть положением в сети. Каждый коммутатор осуществляет переключение четырёх линий основного системного интерфейса блока, тактирующего сигнала для управления коммутаторами и сигнала управления питанием исполнительной платы (так же используемой для непосредственного питания коммутаторов в сети). Четыре из пяти линий направлены от вычислительного ядра к исполнительным платам, а одна обратно. Такая структура интерфейса позволяет бесконфликтно подключить к сети коммутаторов модуль, рассчитанный на работу с практически любым стандартным интерфейсом использующим TTL уровни. Естественно, что вычислительное ядро должно поддерживать реализацию любого интерфейса, используемого в сети, причём модули, использующие разные интерфейсы не должны находиться в одном и том же сегменте сети. За счет введения топологической адресации, оконечные интерфейсные модули могут вообще не иметь логического адреса или иметь адрес, повторяющийся в сети.

В результате подачи серии импульсов адресации через сеть коммутаторов прокладывается маршрут, который удерживается до тех пор, пока не будет подан сигнал закрытия маршрута. Маршрут логически представляет собой шину, соединяющую вычислительное ядро и системную шину исполнительной платы. Повышение надёжности системы достигается, с одной стороны, за счет уменьшения зерна резервирования, а с другой стороны, множественностью маршрутов, для подключения к одному и тому же сегменту сети. Кроме того интегрированная в сеть функция управления питанием исполнительных плат позволяет оставлять в холодном резерве все не используемые в данный момент ресурсы блока, что увеличивает их стойкость к радиационным эффектам и экономит ресурс элементной базы.

В докладе представлен алгоритм работы описанных коммутационных модулей, рассмотрены примеры возможных структур сети, а так же исполнительных плат с использованием интерфейсных модулей «фирменного» последовательного канала внешних устройств.

Литература

1. Журавлев В., Немытов А., Осипов Ю., Першин А. SpaceWire: взгляд со стороны. Часть 1 // Современная электроника. 2017. № 8. С. 36–40.
2. Журавлев В., Немытов А., Осипов Ю., Першин А. SpaceWire: взгляд со стороны. Часть 2 // Современная электроника. 2017. № 9. С. 26–31.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСНОГО КАНАЛА ОБМЕНА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КА

Д.Б. Шахов

Московское опытно-конструкторское бюро «МАРС», Москва, Россия
o.r.t.e.g.a@mail.ru

В последние годы, при разработке систем управления, всё чаще возникает ситуация, когда не хватает пропускной способности мультиплексного канала информационного обмена по ГОСТ Р 52070-2003 (далее МКИО). Это заставляет разработчиков искать обходные пути, снижая интенсивность обмена с наименее критичными компонентами, добавлять дополнительные каналы, или переходить на новые интерфейсы.

Уменьшение интенсивности обмена может быть достигнуто либо децентрализацией системы управления, либо оптимизацией структуры обменов, но, к сожалению, алгоритмы и принципы построения децентрализованных систем управления недостаточно разработаны для внедрения в реальные аппараты, а оптимизация обменов имеет пределы. Увеличение количества каналов вдвое приводит к соответствующему увеличению массы и стоимости, при этом скорость обмена повышается не более чем вдвое, что нельзя признать эффективным решением.

Переход на новые интерфейсы можно считать наиболее перспективным методом увеличения пропускной способности канала обмена. Так в космической отрасли идёт оживлённая дискуссия в связи с интерфейсом SpaceWire. Этот интерфейс обещает великолепные характеристики с точки зрения пропускной способности (до 400 МБ/сек), однако по данным статьи [1, стр. 36], обладает рядом очень существенных проблем. В частности, протокол обмена не обеспечивает гальванической развязки между абонентами, в его последней редакции не обеспечивает гарантированного времени доставки сообщений от абонента к абоненту, система синхронизации абонентов недостаточно эффективна и, кроме того, даже при штатной работе всех компонентов системы могут возникать перманентные блокировки целых сегментов сети, без какого-либо информирования абонентов об этом. Хотя большинство проблем можно решить за счет тщательного проектирования системы с учетом этих особенностей, это приводит к тому, что протокол часто используется для организации высокоскоростного канала связи всего между парой абонентов. Поэтому перспективность применения протокола SpaceWire в качестве системообразующего интерфейса вызывает существенные сомнения.

Другим, достаточно популярным решением, является создание бортовой информационной сети на базе (IEEE Ethernet 802.3.). Главным образом оно нашло применение в авиационной технике, где постепенно вытесняет устаревающие интерфейсы. К преимуществам этого решения можно отнести хорошо отработанную в гражданских применениях схемотехнику, наличие гальванической развязки через малогабаритные трансформаторы и высокую скорость обмена (до 100 Мбит/сек) и не слишком дорогую среду передачи данных (витая пара). К недостаткам же можно отнести достаточно большое время доставки сообщений при отсутствии специальных коммутаторов, отсутствие гарантированного времени доставки сообщения (до 100мс при типичном применении и не менее 1мс при дополнительных мерах). Ethernet присуща избыточность протокола в связи с универсальностью и ориентированностью на объединение в сеть многих одноранговых вычислителей, обменивающихся крупными пакетами данных, а не для иерархических структур с обменом короткими сообщениями (1-32 байт), какими обычно являются системы управления силовой автоматики.

В докладе предлагается компромиссное решение, объединяющее достоинства МКИО и Ethernet, а так же учитывающее опыт использования МКИО в системах управления МОКБ «Марс».

В качестве главных особенностей предлагаемого интерфейса можно выделить следующие:

- 1) Увеличение скорости передачи данных до 30МБод, при сохранении среды передачи данных (кабель КВСФ-75 или аналогичный);
- 2) интерфейс обеспечивает гальваническую развязку;
- 3) архитектура сети централизованная, двухгранная (*двухканальная*), аналогична МКИО;

- 4) применено кодирование, обеспечивающее нулевую постоянную составляющую сигнала и сужение частотной полосы сигнала;
- 5) в сети применяются сетевые концентраторы, а максимальное количество абонентов сети увеличено до 1024;
- 6) Структура слов МКИО и метод адресации был переработан для лучшего соответствия требованиям к перспективным аппаратам и архитектуре распределенных систем управления. Предлагается переход к другой системе адресации, обеспечивающей произвольный доступ к данным интерфейсного модуля.

Были проанализированы характеристики ряда применяемых методов кодирования и предлагаемого. Предложены возможные архитектуры системы управления и оценен предполагаемый выигрыш за счет внедрения предлагаемого интерфейса.

Литература

1. Журавлев В., Немцов А., Осипов Ю., Першин А. SpaceWire: взгляд со стороны. Часть 1 // Современная электроника. 2017. № 8. С. 36–40.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

А.С. Куреев¹, С.Н. Торгаев^{1, 2, 3}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
alsergkir@gmail.com

Механические манипуляторы давно заняли свою нишу в современном мире. Они используются в самых разных сферах человеческой деятельности, начиная от автоматов с игрушками и заканчивая щупальцами шаттлов. Они помогают людям выполнять работу быстрее, точнее и качественнее. Так, например, в медицине механические манипуляторы используются для дистанционного проведения операции. Одним из примеров таких роботизированных устройств является комплекс da Vinci, разработанный американскими военными. Также манипуляторы очень распространены в промышленности, в частности, они используются на линиях сборки, покраски и проверки конечной продукции. На данный момент рынок уже заполнен большим количеством разработок в области создания антропоморфных манипуляторов, однако подобные устройства обычно имеют высокую цену, либо они функционально ограничены. Использование современных средств и технологий может существенно удешевить конечный продукт, при этом сохраняя высокий функционал.

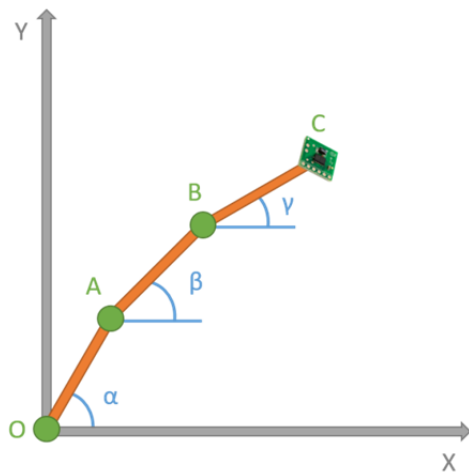


Рис. 1. Углы наклона фаланг пальца манипулятора

Данная работа посвящена созданию антропоморфного манипулятора, по внешнему виду и функционалу соответствующего реальной человеческой руке, который должен обладать возможностью сгибать каждую из фаланг своих пальцев в отдельности. Управление разрабатываемым манипулятором осуществляется за счет перчатки, которая надевается на руку человека-оператора и с помощью датчиков считывает движения пальцев его руки. При этом предполагается возможность дистанционного управления. В качестве датчиков нами используются микросхемы акселерометров. Использование большого количества таких микросхем, в частности, на каждой фаланге и на ладони, значительно увеличит стоимость манипулятора и снизит скорость его работы. В связи с этим, в процессе разработки большое внимание уделяется системе управления, позволяющей осуществлять управления углами наклона каждой фаланги пальца при использовании одной микросхемы акселерометра. Данная задача потребовала проведения ряда математических преобразований с данными, полученными от микросхемы акселерометра, установленного на кончике пальца.

Разработанный алгоритм и система управления реализуется на базе многоразрядного микроконтроллера STM32F407VG. Данный микроконтроллер обладает достаточно высокими вычислительными способностями и скоростью работы, что позволит реализовать обработку данных с большого количества микросхем акселерометров.

Результаты работы показывают, что современные методы и материалы позволяют создавать «дешевые» антропоморфные манипуляторы, близкие по функционалу к их дорогим аналогам, но имеющие существенные ограничения в области их применения.

Литература

1. *Белянин П.Н.* Промышленные роботы. М. : Машиностроение, 1975. 400 с.: ил.
2. *Егоров О.Д.* Конструирование механизмов роботов : учеб. М. : Абрис, 2012. 404 с.: ил.
3. *Юревич Е.И.* Управление роботами и робототехническими системами : учеб. пособие. СПб., 2000. 171 с.: ил.
4. STM32 с нуля. Интерфейс SPI // MicroTechnics.ru. URL: <http://microtechnics.ru/stm32-s-nulya-interfejs-spi/>, свободный.
5. STM32 Discovery – изучение периферии // EasyElectronics.ru. URL: <http://we.easyelectronics.ru/STM32/stm32vldiscovery---izuchenie-periferii.html>, свободный.
6. Определение угла наклона акселерометром // Bitaks.com. URL: <http://bitaks.com/resources/inclinometer/content.html>, свободный.
7. *Булахов Н.Г.* 3D-печать для всех и каждого : массовый открытый онлайн-курс. Томск : Томский государственный университет, 2015. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000538191>

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ НА ПОЛИРОВАННОМ ШТОКЕ ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ*

Д.С. Торгаева, М.В. Сухоруков, Ю.А. Шиняков, Н.А. Шалыпина

НИИ Космических технологий Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия
d_chertikhina@mail.ru

В связи с растущей мировой потребностью в углеводородах и снижающимися запасами легких нефтей наблюдается тенденция к развитию добычи из низкодебетных скважин и скважин с различными типами осложнения добычи, а также к «переосвоению» законсервированных скважин, ранее выведенных из эксплуатации. Следует отметить, что решение о выводе скважины из эксплуатации принимается тогда, когда из-за высокой обводненности продукции (97-99%) или низкого притока пластовой жидкости затраты на ее добычу превышают товарную стоимость. Считается, что эксплуатация низкодебетных и осложненных скважин штанговыми глубинными насосными установками является наиболее экономичной и простой [1, 2]. В связи с этим в настоящее время огромное внимание уделяется разработкам в области создания систем управления штанговыми глубинными насосами.

Основными функциями системы управления штанговым глубинным насосом являются:

- поддержание оптимального динамического уровня скважинной жидкости, при котором обеспечивается максимальный дебет установки и минимальное энергопотребление;
- диагностика состояния погружного и наземного оборудования.

Наиболее распространенной методикой диагностики состояния погружного оборудования является динамометрирование. Однако она не удобна в эксплуатации, так как динамографы дороги, не надежны и имеют большую погрешность [3]. В связи с этим все большее внимание уделяется разработке методик диагностики погружного и наземного оборудования через измерение и обработку диаграмм активной мощности, затрачиваемой электроприводом станка-качалки на работу по подъему скважинной жидкости.

Одним из основных этапов разработки системы управления является моделирование объекта управления. Поскольку входным сигналом разрабатываемой системы управления будет являться мощность на обмотках электродвигателя, необходимо произвести моделирование нагрузки последнего, в частности, усилия на полированном штоке штангового глубинного насоса.

В ходе исследований была построена математическая модель в системе автоматизированного проектирования MathCad. В данной модели движение штанговой колонны приближенно описывается дифференциальным уравнением продольных колебаний однородного стержня с распределенной нагрузкой. Граничные условия на плунжере задаются с помощью закона Гука. Решение дифференциального уравнения производилось методом конечных разностей с использованием итерационного и не итерационного алгоритмов, описанных в работах [4, 5].

В ходе моделирования было выявлено, что не итерационный алгоритм решения позволяет оценить усилия на плунжере, однако, низкая точность не позволит получить модель объекта управления с необходимой степенью адекватности. Следовательно, для дальнейших исследований будет применяться итерационная модель.

Литература

1. *Корабельников М.И., Джунисбеков М.Ш.* Анализ и пути повышения эффективности механизированной добычи нефти из малодебитных скважин в кризисных условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2016. Т. 16, № 1.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», Соглашение № 14.574.21.0157 (уникальный идентификатор RFMEFI57417X0157).

2. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Арутюнян А. С. Анализ возможностей совершенствования буровой техники и условий её эксплуатации при решении задач повышения эффективности нефтедобычи с осложнёнными условиями // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 87.
3. Guluyev G. et al. Building the dynamometer card of sucker rod pump using power consumption of the eclectic motor of pumping unit // Problems of Cybernetics and Informatics (PCI), 2012 IV International Conference. IEEE, 2012. P. 1–3.
4. Ковшов В.Д., Сидоров М.Е., Светлакова С.В. Моделирование динамограммы станка-качалки. Нормальная работа насоса // Нефтегазовое дело. 2004. Т. 2. С. 75–81.
5. Садов В.Б. Моделирование динамограмм с различными дефектами оборудования нефтяной скважины // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2013. Т. 13, № 1.

МЕТОДИКА СОГЛАСОВАНИЯ ДАННЫХ ИНТЕГРИРУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА КРУПНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Н.В. Фаттахова, О.А. Пономарева

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
natalya-284@yandex.ru

Информационная среда предприятия – это несколько программ, разрабатывавшихся в разное время разными разработчиками на разных платформах в соответствии с тем пониманием бизнес-процессов, которое существовало в соответствующее разработку время. Часть из них обычно бывает разработана внутри предприятия, часть – приобретена как тиражный продукт, однако все они обычно задействованы и их функционирование критично для предприятия. Такой подход приводит к необходимости интегрировать данные из различных систем и подсистем.

Современные корпоративные системы характеризуются как сверхсложные и гетерогенные, распределенные по различным платформам. Технология взаимодействия приложений ограничена транспортными механизмами для передачи данных. Данные, поступающие из отдельных систем, оказываются несогласованными или даже недоступными в нужное время. Потребности бизнеса диктуют необходимость связи и интеграции этих гетерогенных систем и платформ [1].

В результате анализа существующих моделей, была выбрана сервис-ориентированная архитектура (Service-Oriented Architecture — SOA). Это такая архитектура ИС, в которой система строится из набора гетерогенных слабосвязанных компонентов (сервисов). SOA понимается как парадигма организации и использования распределенного множества функций, которые могут контролироваться различными владельцами.

Архитектура SOA позволяет обеспечивать поэтапность внедрения вновь созданных и миграции существующих ИС, иметь стандартизованную технологическую обеспеченность реализации и инструментарий разработки, совокупно предоставляющие наилучшие возможности повторного использования приложений, внедрения новых и миграции существующих информационных систем [2].

Взаимодействие с информационной шиной (ИШ) образует однородную среду информационного пространства и является фундаментом для интеграции ИС. ИШ определяет последовательность обработки запросов, учитывая уровень приоритета пользователей и процессов.

На предприятии новые НКН заносят сотрудники двух отделов в программу «Справочник материалов», данные которых передаются в программы «Электронный склад» и «1С ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3» (далее 1С).

В программе «Электронный склад» руководитель группы создает документ Приходный ордер (ПО) на товары и требование-накладную. В организации документооборотом предусмотрено последовательное согласование ПО и требования сотрудниками других подразделений. Последним в цепочке согласований стоит бухгалтер, который отмечает к выгрузке в программу 1С. Процедура загрузки в программу 1С документов (ПО и Требования), согласованных бухгалтером запускается ежедневно в 22-00 часа. В программе 1С бухгалтер, отметивший к выгрузке ПО и требование, проводит документы. Проверая при этом остатки на складе с учетом бухгалтерского счета учета на центральном складе.

Ранее, операция по замене счета выполнялась следующим образом: бухгалтер понимает, что НКН не на том балансовом счете в программе 1С и меняет вид номенклатуры у НКН в открытом (рабочем) периоде программы. Далее возвращается в программу «Электронный склад» и меняет счет учета в ПО и требовании. Ручное исправление счетов учета приводило к некорректным проводкам, следовательно, к ошибкам в бухгалтерской отчетности.

Документооборот предприятия обязывает соблюдать точное соответствие бухгалтерских счетов учета в распечатанных документах ПО и требования с документами в 1С.

Для решения данной проблемы был разработан модуль ИС, который производит замену данных в программе «Электронный склад» в документах ПО и требованиях в атрибуте счет учета на основании события замена счета в программе 1С.

Таким образом, обоснована методика интеграции разрозненных информационных систем крупного промышленного предприятия. Задача согласования данных бухгалтерских счетов реализована на базе сервис-ориентированной архитектуры. В результате реализован алгоритм согласования и внедрен программный модуль по изменению данных бухгалтерских счетов на базе архитектуры SOA.

Литература

1. Вичугова А.А., Вичугов В.Н. и др. Информационные технологии : учеб. пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2011. 84 с.
2. Интеграция информационных систем предприятия. URL: <http://www.intuit.ru> (дата обращения: 23.02.2018).

БЕСПРОВОДНОЙ ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» С ПОДДЕРЖКОЙ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ

М.С. Щербаков¹, Д.В. Шадрин²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
shcherbakovs1402@gmail.com, shadiv195@gmail.com

В современном мире большинство производителей старается снабдить свои продукты мобильными приложениями. Их создание целесообразно, потому что они дополняют какое-либо создаваемое устройство или сервисы, во многом упрощая работу и восприятие информации при взаимодействии с ними [1, 2]. К тому же, одной из важнейших функций в выпускаемых «умных» устройствах является возможность удаленного доступа. Одним из примеров применения мобильных приложений является сбор информации и контроль в системах «умный дом» [1, 2].

Целью данной работы является создание мобильного приложения доступа и управления системой «умный дом». Приложение разрабатывается для операционной системы «Android» версии не ниже «5.0 Lollipop», на языке Java в среде «Android Studio». Основные требования к приложению: удобный пользовательский интерфейс, функции удаленного доступа к устройству, взаимодействие с протоколом «MQTT».

Приложение будет взаимодействовать с системой, получать и запрашивать показания, посредством асинхронного протокола «MQTT», работающего на прикладном уровне поверх TCP/IP, созданного как раз для систем «умный дом». Схема организации данного протокола позволит нам связывать устройство и приложение через сервер, используя любой роутер с Wi-Fi, подключенный к Ethernet. Причем все данные, которые отсылает устройство на сервер, будет хранить брокер MQTT, а приложение лишь запрашивать к нему доступ и получать необходимую информацию. Такой принцип организации взаимодействия очень удобен, потому что передача данных по принципу данного протокола возможна и при плохом соединении с сетью.

Для данного протокола существуют аналоги, создаваемого нами мобильного приложения, но они не отличаются «дружелюбностью» к пользователю, пользование ими не всегда интуитивно понятно. Подобные недостатки мы пытаемся преодолеть в ходе нашей работы. На данном этапе, нами уже создана взаимосвязь брокера MQTT (сервера) с приложением и создается интерфейс для мобильного устройства.

Литература

1. Умный дом – теория и реализация на базе протокола Z-Wave // Iguides.ru. URL: https://www.iguide.ru/main/accessories/umnyy_dom_teoriya_i_realizatsiya_na_baze_protokola_z_wave/, свободный (дата обращения: 27.04.2018).
2. Умный дом – теория и реализация на базе протокола ZigBee // Iguides.ru. URL: https://www.iguide.ru/main/accessories/umnyy_dom_teoriya_i_realizatsiya_na_baze_protokola_zigbee/, свободный (дата обращения: 27.04.2018).

Секция 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В АРХИТЕКТУРЕ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ, В ОХРАНЕ ПРИРОДЫ, ЭКОЛОГИИ И ЗДРАВООХРАНЕНИИ

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫПУСКА СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО BIM-МОДЕЛИ

Н.С. Давыдов¹, С.В. Придвижкин¹, А.В. Белькевич²

¹ Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² ООО «АМКАД», Екатеринбург, Россия
nikitadavydov14@icloud.com, 28argol1@mail.ru, abelkevich@amcad.ru

В условиях значительного снижения маржинальности работы предприятий инвестиционно-строительной отрасли России необходимо сокращение издержек, в частности через внедрение BIM-технологий. BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) – информационное моделирование здания или информационная модель здания или сооружения. Это современный подход к проектированию, возведению, эксплуатации зданий и сооружений, который способен контролировать все этапы проекта.

Особое внимание в данной работе уделено системам автоматизации выпуска сметной документации по BIM-модели. Авторами статьи проведено сравнение этих продуктов и выделены сильные и слабые стороны их применения. В рамках этой работы проведен анализ следующих программных комплексов:

1. «Гектор: 5D Смета» (разработчик ООО «Научно-технический центр “Гектор”», Москва);
2. «ABC-4» (разработчик ООО «Научно-производственное предприятие “ABC-Н”», Новосибирск);
3. «Estimo.Connect» (разработчик компания «Айбим», Москва);
4. «ITWO 4.0» (разработчик компания «RIB», Германия, Штудберг).

Первый продукт – «Гектор: 5D Смета», ещё только предстоит протестировать на реальных проектах, а также подготовить больше методической информации о работе в этой программе. Сильная сторона заключается в узкой направленности именно по работе в системе проектирования Autodesk Revit, отсюда и простота работы. Однако уже сегодня специалисты отмечают, что «Гектор: 5D Смета» имеет низкие показатели производительности: программа «подвисает» и работает очень медленно при работе с крупными объектами капитального строительства.

Следующий комплекс – «ABC-4». Для работы с BIM-моделями разработчики организовали связь своей сметной программы с дополнительными модулями. Программный модуль "ABC-База знаний" может распознавать так называемые «сметные коллизии»: если изменится характеристика элемента в проекте, а норма, привязанная к нему, не будет соответствовать истинной, то программа выдаст уведомление о необходимости исправления либо уточнения. Программное решение «ABC-Рекомпозиция» позволяет собирать BIM данные с различных программ (например, инженерные сети выполнены в Revit, конструктив в Allplan) и соединять в единый проект, далее в смету. Пока полностью неизвестен потенциал «Гектор: 5D Смета», авторы считают «ABC-4» более гибким решением и лучшим из представленных в этой работе.

Специфика работы «Estimo.Connect» не представляется комфортной, так как для работы в этой программе сначала необходимо назначить коды классификатора для элементов модели (эту рутинную работу нужно поручить внимательному сотруднику, а это уже не автоматизация). Для эффективной работы в этой программе нужна немалая поддержка и трудовые ресурсы, которые готовы предоставлять только такие крупные организации как Госкорпорация «Росатом», ОАО «РЖД» и т.д.

Последний из представленных в этой работе, программный комплекс «ITWO 4.0», хорошо зарекомендовал себя в Европе, и многие иностранные компании уже используют данные 5D-технологии. Однако «ITWO 4.0» не сможет работать в российской строительной отрасли. Это связано с тем, что любая иностранная сметная программа не подходит под нашу отечественную, весьма сложную, сметно-нормативную базу: например, в Германии чтобы «осметить» монолитную железобетонную колонну достаточно применить одну сметную норму, где уже учтены все затраты и ресурсы, а в России необходимо учесть 7-8 норм и расценок, еще и из разных сборников.

Внедрение 5D-проектирования для России будет важным инструментом, способствующим увеличению экономической эффективности инвестиционно-строительного проекта, прозрачности финансирования и снижению инвестиционных рисков в строительном производстве.

По окончании внедрения систем 5D-проектирования, BIM-моделирование существенно снизит себестоимость строительных работ и устранил проблему с «непрозрачными» сметами.

Литература

1. Липиц И.В., Косов В.В. Инвестиционный проект: методы подготовки и анализа. М. : БЕК, 2014.

2. Воронин И.А., Изатов В.А. О возможности определения сметной стоимости строительных объектов с использованием BIM проектирования // Материалы всероссийской конференции «Экономические и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России». 2014. С. 11.
3. Придвижкин С.В., Баженов О.В., Шевелева А.Е. Vim-Leap-синергия. Инструменты технологического обеспечения бережливого строительства // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. № 6, т. 2. С. 98–10.

РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ДИФФУЗИОННОЙ ТОМОГРАФИИ

И.К. Ерахтин, А.А. Аристов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
erakhtin.i.k@gmail.com

Травмы головного мозга часто сопровождаются возникновением внутричерепных гематом, наличие которых является опасным для состояния и жизни людей. Поэтому очень важно оперативно выявить наличие, размер и местоположение гематомы, с целью оказания своевременной медицинской помощи. На сегодняшний день основными инструментальными методами для выявления внутричерепных гематом головного мозга являются магнитно-резонансная и компьютерная томография, однако проведение обследования пациента данными методами возможно далеко не всегда. Поэтому, на данный момент, создание устройства, которое способно оперативно выявлять наличие внутричерепных гематом является актуальной задачей. Принцип работы такого устройства может быть основан на использовании такого диагностического метода, как спектроскопия в оптическом диапазоне длин волн.

На сегодняшний день на рынке существует прибор Infrascanner model 2000 [1], который является переносным детектором внутричерепных гематом, работающий в ИК-диапазоне ближнего действия (808 нм). Согласно приведенным экспериментальным исследованиям [2, 3], сканер Infrascanner model 2000 имеет высокую диагностическую чувствительность – вероятность выявления наличия гематом составляет 91%. Однако, данный прибор не позволяет определить параметры самой гематомы (размер, глубина залегания, точная локализация), которые очень важны для проведения реанимационно-реабилитационных мероприятий. Принцип работы прибора Infrascanner model 2000 построен на дифференциальном методе, т.е. выявление гематом происходит путем сравнения оптических свойств симметричных участков на голове в реперных точках. Таким образом, остается высокая вероятность не заметить небольшие или глубоко находящиеся гематомы вне этих зон. Исходя из данных недостатков, очевидно, что необходимо дальнейшее совершенствование метода и устройства для получения не только качественных, но численных данных о параметрах диагностируемой гематомы.

Приборы Infrascanner имеют только один источник и приемник зондирующего излучения, что является, на наш взгляд, фактором, который ограничивает его диагностические возможности. Решить данную проблему, связанную с определением параметров гематомы, на наш взгляд, возможно путем увеличения числа источников и приемников излучения (триангуляционная схема). Также, чтобы повысить чувствительность исследования, предлагается использовать метод двухволновой спектроскопии [4], так как имеются существенные спектральные различия для свернувшейся и несвернувшейся крови в красной области спектра. Поэтому, в разрабатываемой системе измерения проводятся в красной (около 640 нм) и инфракрасной (около 805 нм) области спектра.

В результате работы разработана принципиальная схема трехканального оптоэлектронного устройства, исключая недостатки существующего прибора Infrascanner model 2000. Практически реализован макет прибора, на котором отлажена работа блоков устройства и алгоритмы управления, а именно отлажена система формирования зондирующих излучений, система автоматической регулировки усиления приемного оконечного каскада, система компенсации засветки. Написан программный код для МК, который осуществляет согласованную работу всех блоков схемы. Реализована цифровая фильтрация принятого сигнала (ФНЧ Баттерворта 3-го порядка).

В дальнейшем будут проведены испытания устройства на модельных объектах [5]. На основе проведенных испытаний макета планируется разработать алгоритмы, которые позволят не только детектировать саму гематому, но и ее параметры, а именно: размер, глубину залегания и местоположение.

Литература

1. The Infrascanner Model 2000, Brochure. URL: <http://infrascanner.com/wp-content/uploads/2014/12/IFS-Brochure.1.9.15.pdf> (дата обращения: 25.04.2018).
2. Bressan S., Daverio M. et al. Childs Nerv Syst. 2013. P. 477.
3. Robertson C.S., Zager E.L. et al. // Journal of Neurotrauma. 2010. Vol. 1597. P. 27.
4. Timchenko K.A., Aristov A.A., Musorov I.S., Evtushenko T.G. Development of Optoelectronic System for Subdural Hematoma Diagnostics // 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2014): proceedings, 30 June-4 July 2014. Novosibirsk : NSTU, 2014. P. 319–322.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Г.Б. Захарова

Уральский государственный архитектурно-художественный университет, Екатеринбург, Россия
zgb555@gmail.com

Информационные технологии как одно из самых инновационных направлений оказывают влияние на все сферы деятельности и развиваются очень быстрыми темпами. Строительство, напротив, крайне медленно принимает новые технологии и имеет низкую продуктивность. В то же время отрасль оказывает огромное влияние на жизнь сотен миллионов людей. Согласно отчету международной консалтинговой компании McKinsey [1] с 1945 года производительность в сельском хозяйстве, розничной торговле и промышленности возросла на 1500%, а в строительстве этот показатель почти не изменился. Как отмечает сайт Recorder [2], даже незначительные технологические новшества могли бы радикально поменять ситуацию, поскольку повышение продуктивности приведет к колоссальной экономии. Далее приведен краткий обзор инновационных технологий в строительной индустрии, основанных преимущественно на достижениях в области искусственного интеллекта, которые постепенно входят в практику зарубежных и российских проектных и строительных компаний.

В настоящее время Россия включилась в процесс внедрения технологий информационного моделирования зданий BIM в проектно-строительную практику. BIM-модель как интеллектуальный источник взаимосвязанной информации об объекте и BIM-технологии как основа управления этой информацией на протяжении жизненного цикла объекта внедряются на уровне госзаказов. На сегодняшний день наиболее полное представление о BIM показано в рамках работы Пенсильванского университета над рекомендациями для реализации BIM проектов [3], где выделяется множество BIM сценариев, это составляющие технологии BIM, привязанные к этапам планирования, проектирования, строительства и эксплуатации. Примеры таких сценариев: оценка стоимости, конструктивный анализ, световой анализ, энергетический анализ, планирование использования стройплощадки, планирование обслуживания, анализ систем здания, планирование на случай ЧП и другие.

С применением облачных технологий при реализации BIM компания Автоodesk ввела понятие Connected BIM, когда все процессы, люди и технологии взаимосвязаны в информационной среде.

Интернет вещей (IoT) предполагает автономную взаимосвязь по беспроводным сетям различных объектов, например, для мониторинга и управления параметрами помещения для поддержания комфортной среды. Применяется в технологиях «умный дом», обеспечивающих управление всеми подсистемами здания.

В масштабе городской территории развиваются интегрированные автоматизированные системы управления «умный город». Умный город принято разделять на подсистемы: безопасный город, умное образование, умную медицину, умный транспорт, умное ЖКХ и умных жителей, которые активно участвуют в управлении городом через всевозможные электронные сервисы. В основе автоматизации лежат Big data, большие данные, и интеллектуальные алгоритмы по их обработке. Искусственный интеллект имеет большие возможности для решения задач оптимизации на основе машинного обучения и нейросетевых моделей и алгоритмов.

Виртуальная, дополненная, смешанная реальности (VR/AR/Mix) применяются для эффективной визуализации объектов строительства. Это интерактивная графика в реальном времени.

Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга строительной площадки позволяет выполнять расчеты по объему земельных работ в специализированном программном обеспечении (например, облачная веб-платформа TraceAir), строить 3D-модели рельефа территории, карты высот, модели окружающей застройки.

Трехмерная печать зданий, мостов, элементов благоустройства, мебели и др. находит всё большее распространение. Впечатляющие примеры можно увидеть в Китае, Арабских Эмиратах, а также в России.

Автоматизированные каменщики и роботосборщики имеют высокую производительность и хорошее качество строительных объектов. Роботы запрограммированы для строительства различных конструкций.

Инновации в строительной сфере находят всё большее распространение в эпоху цифровой экономики.

Литература

1. *Filipe Barbosa, Jonathan Woetzel, Jan Mischke, Maria Joao Ribeirinho et al.* Reinventing construction through a productivity revolution. Report McKinsey Global Institute. February 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution> (дата обращения: 10.04.2018).
2. *April Glaser and Rani Molla.* The construction industry is short on human workers and ripe for a robotic takeover. Jun 6, 2017. URL: <https://www.recode.net/2017/6/6/15701186/robots-construction-homes-technology-drones-building-automation-productivity> (дата обращения 10.04.2018).
3. BIM Project Execution Planning Guide. URL: <http://bim.psu.edu/> (дата обращения 10.04.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ГЕМАТОКРИТА НА РАССЕИВАЮЩИЕ СВОЙСТВА КАПЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КРОВИ

А.А. Аристов, С.С. Ким

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
ssk13@tpu.ru

Анализ биологических жидкостей широко используется в медицинской клинической диагностике, и автоматизация данных исследований является достаточно актуальной задачей. Разрабатывается множество приборов, использующих различные методы анализа. Среди них стоит выделить оптические приборы, работающие с образцами цельной крови.

При проведении исследований на цельной крови одной из проблем является влияние величины гематокрита образца на его оптические параметры. В связи с этим необходимо проводить коррекцию получаемых результатов с учетом величины гематокрита. Проводя наши исследования по постановке лабораторных диагностических тестов, используя метод фотометрирования образцов крови в виде лежащих капель [1], мы также столкнулись с этой проблемой. Поэтому, перед нами встала задача провести оценку возможности определения гематокрита в капельном образце крови наряду с исследованием изменения оптических свойств при протекании каких-либо физико-химических процессов. Известно, что величина гематокрита влияет на рассеивающие свойства крови и, соответственно, оценив величину рассеянного излучения под определенными углами, возможно определить гематокрит образца.

Для исследования рассеяния светового излучения капельными образцами крови нами был использован ранее изготовленный прибор [2, 3]. Изучаемый капельный образец, имеющий диаметр основания 3.5 мм и объемом 15 мкл, снизу освещался полупроводниковым лазером (808 нм) через коллимирующее отверстие 0.5 мм. Фотоприемник, перемещаемый по дуге над поверхностью капли шаговым двигателем, регистрировал рассеянное излучение в диапазоне от -90° до $+90^\circ$, с шагом 0.9° . Для исследования из отмытых эритроцитов были подготовлены образцы, содержащие разную концентрацию эритроцитов (Ht), суспендированных в изотоническом буферном растворе.

В эксперименте была показана хорошая повторяемость результатов и закономерная зависимость рассеивающих свойств образца от гематокрита. Индикатрисы рассеянного излучения, полученные для капельных образцов крови с различной величиной гематокрита, представлены на рис. 1. Как видно из графиков, в диапазоне углов рассеяния 30° - 40° наблюдается достаточно выраженное различие в интенсивности рассеянного излучения у разных образцов, что в дальнейшем нами будет использовано для оценки величины гематокрита.

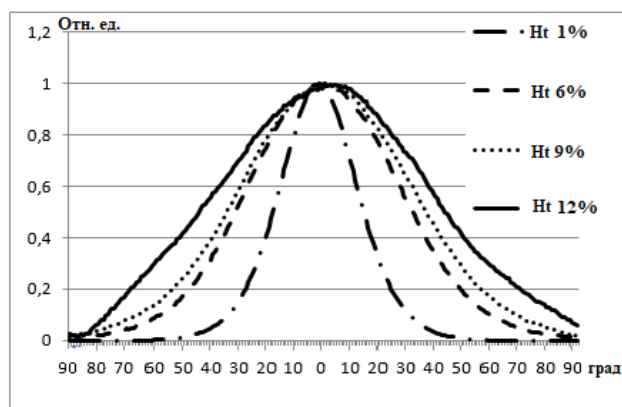


Рис. 1. Нормированный график индикатрис рассеяния для капельных образцов крови с разным гематокритом (Ht)

Литература

1. *Aristov A.A., Nosova E.V., Soldatov A.N.* Use of Lying Drop Photometry for Clinical Laboratory Diagnostics // J. Biomedical Engineering. 2017. № 5. P. 314–317.
2. *Аристов А.А., Евтушенко Г.С., Рафальский А.С., Жогло Е.В.* Устройство для исследования рассеивающих свойств капельных образцов биологических жидкостей // Приборы и техника эксперимента. 2012. № 2. С. 144–148.
3. *Аристов А.А., Рафальский А.С.* Устройство для оценки физических свойств капельных проб биологических жидкостей // Патент на полезную модель № 98250. 2010. Опубл. 10.10.2010.

УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОДЫ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

С.С. Колomoец, А.А. Павлова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
lano96@mail.ru, Sandy.surname@gmail.com

Установленным является факт отличия удельной электропроводности воды σ термокарстовых озер, которые образуются при таянии вечной мерзлоты, от электрических свойств озер, образованных атмосферными осадками. Мониторинг объема термокарстовых озер позволяет определить вектор климатических изменений. Достоверность заключения об этих изменениях во многом определяется исследуемой площадью. Аэрокосмические методы в оптическом диапазоне позволяют проводить оценку количества термокарстовых озер по характерной круглой форме. Однако, этот параметр не является определяющим, в отличие от σ , которая может быть измерена дистанционными методами, использующими радиоволновой диапазон.

Для дешифрования результатов дистанционного зондирования необходимо использовать тестовые природные участки с известными электрофизическими характеристиками, которые определены мобильными методами исследования и измерениями в лабораторных условиях. В качестве такого тестового участка в рамках программы САЕ ТГУ «TSSW – Сибирский путь будущего» выбран участок в окрестности поселка Ханымей Ямало-Ненецкого автономного округа. В теплое время 2017 года были взяты пробы «вечномерзлотной» почвы на этом участке, из которых получены образцы воды. В связи с трудной доступностью тестового участка нами проведено моделирование образования вечно мерзлотного слоя путем многократного цикла замораживания-размораживания образцов мха, насыщенного дистиллированной водой. Измерения удельной электропроводности производились в лабораторных условиях серийным кондуктометром «Эксперт 002» и мобильным СВЧ прибором [1], который разработан в лаборатории «Радиофизических и оптических методов исследования окружающей среды».

Удельная проводимость образцов воды

№ п/п	Вид воды	Удельная проводимость, мкСм/см	Мнимая составляющая ДП, отн. ед, Расчет по Дебаю, F = 500 МГц
1	Образец 1	60,5	2,2
2	Образец 2	101,03	2,4
3	Образец 3	386,6	3,4
4	Образец 4	209,66	2,6
5	Снежная	12,3	2,04
6	Вода питьевая	555,66	4,0
7	Вода дистиллированная	4,99	2,02
8	Карачинская	2833	12,2

Результаты статистической обработки двумя методами приведены в таблице. Для контроля достоверности получаемых результатов измерены величины удельной электропроводности водных объектов с хорошо изученными электрофизическими характеристиками (строки 6 и 7 в таблице).

Литература

1. Суляев В.И., Журавлев В.А., Коровин Е.Ю., Балдов Р.В. Устройство для измерения удельной электропроводности водных растворов с расширенным динамическим диапазоном. Патент на полезную модель № 16561 РФ, Приоритет 25 декабря 2015 г.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Т.О. Кошeвая, Ю.Г. Дмитриев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tomakoshevaya@gmail.com, dmit@mail.tsu.ru

1. Введение. Часто на практике месторождения, подвергающиеся предварительной разведке, только в 5-10% оказываются промышленными [1]. Так как опробование проходит по редкой сети, то не представляется возможным оконтурить рудные тела, определить их объем и среднее содержание полезного компонента для вычисления запасов. В работах [2, 3] рассматривается ситуация, когда исследователь или эксперт на основании своего опыта и знаний может высказать предположение о значении интересующей его характеристики (выдви-

нуть априорную догадку). В данной работе предлагаются оценки запаса полезного компонента для заданного уровня промышленного содержания с учетом априорной догадки при разной степени доверия к априорной информации, анализируются и сравниваются с реальными данными.

2. Постановка задачи. По данным о частоте встречаемости различных концентраций полезного компонента на исследуемом участке строится гистограмма распределения содержаний в опробованном объеме рудосодержащих пород. На основании статистической зависимости между средними содержаниями и соответствующими долями объемов опробованных пород можно оценить величину запаса полезного компонента для заданного уровня промышленного содержания. Так, в работе [1] установлена закономерная связь, которая описывается уравнением прямой вида $y = ax + b$, где коэффициенты a и b вычислены с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Пусть P – доля объема опробованных пород, а априорная догадка p_a выступает в качестве возможного значения доли P . Необходимо построить комбинированную оценку \hat{P} , учитывающую совместно оценку $\hat{P} = \hat{y} = \hat{a}x + \hat{b}$ и априорную догадку p_a . Рассмотрим комбинированную оценку $\hat{P}_\lambda = \hat{P} - \lambda(\hat{P} - p_a)$, где оптимальный весовой коэффициент $\lambda = \left[1 + n(P - p_a)^2 / (P(P-1))^2\right]^{-1}$ выбран из условия минимума среднеквадратической ошибки.

3. Адаптивная оценка. Поскольку коэффициент λ неизвестен, заменим его на некоторое предполагаемое значение λ_1 , которое выступает как степень доверия к предложенной априорной догадке в комбинированной оценке и получим адаптивную комбинированную оценку доли P : $\hat{P}_1 = \hat{P} - \lambda_1(\hat{P} - p_a)$. Но при такой замене нарушаются оптимальные свойства оценок, поэтому требуется ответить на вопрос, при каких условиях адаптивная комбинированная оценка является предпочтительнее оценки доли \hat{P} .

4. Практический пример. По данным опробования по редкой сети строим обычную оценку на основании значений концентраций и частоты их появления. С помощью МНК получены оценки параметров $\hat{a} = 1,873$ и $\hat{b} = -0,869$, посчитана доля $\hat{P} = 0,699$. В соответствии с этим, процентное расхождение с реальной оценкой запасов составляет $Diff\% = [(0,699 - 0,542) / 0,542] * 100 = 28,97\%$. Построим адаптивную оценку \hat{P}_1 с учетом изменения априорной догадки p_a и коэффициента λ в диапазоне от 0.1 до 0.9. В таблице ниже представлено процентное расхождение адаптивной оценки с реальной оценкой запасов.

Процентное расхождение комбинированной оценки с реальной оценкой запасов

λ_1	p_a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1		17.83%	19.67%	21.51%	23.36%	25.20%	27.04%	28.89%	30.73%	32.57%
0.2		6.78%	10.47%	14.16%	17.84%	21.53%	25.22%	28.90%	32.59%	36.28%
0.3		-4.26%	1.27%	6.80%	12.33%	17.86%	23.39%	28.92%	34.45%	39.98%
0.4		-15.30%	-7.93%	-0.56%	6.81%	14.19%	21.56%	28.93%	36.31%	43.68%
0.5		-26.35%	-17.13%	-7.92%	1.30%	10.52%	19.73%	28.95%	38.17%	47.38%
0.6		-37.39%	-26.33%	-15.27%	-4.21%	6.85%	17.91%	28.97%	40.03%	51.09%
0.7		-48.44%	-35.53%	-22.63%	-9.73%	3.18%	16.08%	28.98%	41.89%	54.79%
0.8		-59.48%	-44.73%	-29.99%	-15.24%	-0.49%	14.25%	29.00%	43.74%	58.49%
0.9		-70.52%	-53.93%	-37.34%	-20.75%	-4.16%	12.42%	29.01%	45.60%	62.19%

Литература

1. Алексеев Ф.Н., Ростовцев В.Н. Теория образования месторождений полезных ископаемых и практика их применения. Томск: STT, 2004. 316 с.
2. Дмитриев Ю.Г., Кошевая Т.О. О комбинированных оценках вероятности // Известия вузов. Физика. 2015. Т. 58, № 11/2. С. 242–246.
3. Дмитриев Ю.Г., Кошевая Т.О. Оценки вероятности с учетом априорных догадок // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 8/2. С. 25–28.

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ЭКГ

И.А. Лежнина, К.В. Оверчук, А.А. Уваров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
Lezhnina@tpu.ru

Персональный кардиограф «ЭКГ-Экспресс», разработанный в Томском политехническом университете, решает проблему современной диагностики сердечных заболеваний – задачу регистрации внезапных приступов на ЭКГ. Это могут быть как приступы стенокардии, так и сбои ритма разной степени тяжести. Длительность – от нескольких секунд до нескольких минут. Причина – от нервного перенапряжения до серьезных ишемических нарушений.

В настоящее время эти приступы никак не регистрируются и записываются со слов пациента. Между тем, запись ЭКГ во время приступа может дать врачу ценную информацию для постановки диагноза.

Для решения задачи удаленного мониторинга ЭКГ был разработан веб-ориентированный программный комплекс.

Состав программного комплекса

1. Сервер приема и хранения базы данных записей ЭКГ, статистики и данных пользователей. Сервер обеспечивает прием записей от приборов «ЭКГ-Экспресс» и сохраняет их в базе данных на сервере, присваивая соответствующему пользователю. Также в базе хранятся результаты анализа ЭКГ, расшифровки врачей и другая дополнительная информация.

2. Серверный модуль анализа записей ЭКГ. Обеспечивает обработку записей ЭКГ с целью извлечения информативных параметров из кривой ЭКГ, в частности, расчет временных и амплитудных параметров.

Были реализованы ключевые функции, важные для дальнейшего тестирования и внедрения устройств «ЭКГ-Экспресс»: автоматическое обнаружение R-зубцов и ST-сегментов на ЭКГ. Алгоритм работает на основе уравнения, полученного объединением алгоритмов обнаружения QRS комплекса Pan-Tompkins и Murthy-Rangaraj, что привело к получению нового способа, обладающего достоинствами обоих методов [1-2]. В частности, алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью и вносит минимальные задержки во входной сигнал. Функция устойчива к помехам и дает четкие пики, легко поддающиеся дальнейшей обработке пороговым детектором.

3. Веб-ориентированный интерфейс для отображения данных, хранимых на сервере, и результатов анализа ЭКГ. Является основным инструментом взаимодействия пользователей с системой. Обеспечивает доступ ко всей информации из базы данных, позволяет работать с записями, в частности, просматривать и производить измерения. Разграничивает доступ пользователей, представляет результаты анализа для пользователей.

На рис. 1 представлен пример работы веб-интерфейса.



Рис. 1. Пример работы веб – интерфейса

На данный момент прибор проходит тестирование в НИИ кардиологии г. Томска. Проводятся исследования практического применения систем теле-ЭКГ, которые позволят решить ряд новых задач в кардиологической диагностике, в частности, обнаружить проявления заболеваний на ранних стадиях.

Литература

1. Overchuk K., Uvarov A. and Lezhnina I. The experience of using the personal electrocardiograph “ECG-Express” // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 881 (2017) 012008. DOI:10.1088/1742-6596/881/1/012008.
2. Overchuk K., Uvarov A. and Lezhnina I. Anti-jamming algorithm for detection of QRS and ST segments on Electrocardiogram // MATEC Web of Conferences 7 01029 (2016). DOI: 10.1051/MATEC CONF/201679010.
3. Rangayyan R.M. A Real-Time QRS Detection Algorithm Biomedical Signal Analysis. New York : IEEE Press, Wiley, 2015.
4. Pan J., Tompkins W.J. IEEE Trans. Biomed. Eng. BME-32, 230 (1985). DOI: 10.1109/TBME.1985.325532.

МАТРИЦА И МЕРЫ СХОДСТВА – НОВЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНОМОВ ОДНОХРОМОСОМНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

А.С. Гуменюк¹, Н.Н. Поздниченко², С.Н. Шпынов³, А.А. Скиба⁴

^{1,2} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

³ Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи, Москва, Россия

⁴ ООО «Компания Элмис», Омск, Россия

gumas45@mail.ru, nick670@yandex.ru, stan63@inbox.ru, skiba.artem@inbox.ru

Ранее в публикациях авторов были представлены разнообразные средства как для исследования полных геномов [1, 2], так и более детального их представления с использованием аннотаций [3]. В данной работе представлено новое средство для детального исследования и сравнения множеств близкородственных геномов однохромосомных организмов по их компонентам – матрица сходства.

В настоящее время общепринятыми у специалистов по биоинформатике и молекулярных генетиков при исследовании генов и других компонентов полных геномов, а также при их сравнении являются различные вариации программных средств BLAST. Они используют попарное и множественное выравнивание полных геномов или отдельных компонентов. В частности, для сравнения геномов совокупности близкородственных организмов зачастую используется Genome Neighbor report, включающий характеристики Symmetric Identity и Gapped Identity [4, 5]. Однако программные реализации данных средств являются вычислительно сложными и поэтому обсчитываются NCBI на серверной стороне и только для фиксированного перечня близкородственных организмов.

Нами предлагается новое средство для сравнения множеств геномов однохромосомных организмов на основе характеристик строя их компонентов [6]. Матрица сходства содержит в ячейках процент совпадающих или схожих по характеристике строя компонентов. Также она предполагает возможность интерактивного просмотра списка совпавших и схожих компонентов для выбранной пары геномов. Изначально авторами был реализован метод попарного сравнения, однако, в дальнейшем его реализация была изменена следующим образом. Для всех компонентов всех геномов вычисляются значения характеристики строя. Для всех компонентов строится общее ранговое распределение с сохранением информации о принадлежности полному геному. Далее ранговое распределение просматривается слева направо, и сравниваются характеристики текущего и следующего компонентов. Если они различаются не больше чем на заданную величину, то их пара добавляется в соответствующую ячейку матрицы сходства, и текущий компонент сравнивается со следующим. Цикл повторяется, пока не будет найден отличающийся компонент, после чего переходим к следующему компоненту. После прохождения всего рангового распределения матрица будет заполнена. При этом на главной диагонали располагается процент дублирующихся внутри генома компонентов. Кроме того, в ранговом распределении может использоваться группировка компонентов по одинаковым значениям характеристики для быстрого выделения списка совпадающих компонентов (путём формирования списка всех возможных пар компонентов для каждого значения характеристики). При этом список схожих компонентов формируется путём сравнения значений характеристик (соответствующих группам компонентов) по тому же алгоритму, но с выделением всех возможных пар из групп схожих по значению характеристики.

Новые алгоритмы могут также быть расширены для сравнения компонентов по нескольким характеристикам. При этом для всех характеристик строятся ранговые распределения. Распределение первой характеристики также просматривается слева направо, а значения других характеристик компонента должны сравниваться как влево (с меньшими), так и вправо (с большими) значениями других компонентов. И наконец, вычисляется пересечение множеств совпавших пар для всех характеристик, оставшиеся пары составляют матрицу сходства.

Литература

1. Гуменюк А.С., Поздниченко Н.Н., Родионов И.Н., Шпынов С.Н. О средствах формального анализа строя нуклеотидных цепей // Математическая биология и биоинформатика. 2013. Т. 8, № 1. С. 373–397.
2. Гуменюк А.С., Поздниченко Н.Н., Шпынов С.Н. Формальный анализ строя локальной структуры нуклеотидных последовательностей // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 4 (29). С. 23–30.
3. Поздниченко Н.Н., Гуменюк А.С., Шпынов С.Н. О картографическом представлении множества геномов прокариот с помощью числовых характеристик строя их компонентов. // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы 11-й международной конференции, 6–10 июня 2016 г. Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. С. 84–85.
4. Polyakovskiy V., Roytberg M.A., Tumanyan V.G. Comparative analysis of the quality of a global algorithm and a local algorithm for alignment of two sequences // Algorithms for Molecular Biology. 2011. V. 6, № 1. P. 25.
5. Altschul S.F. et al. Basic local alignment search tool // Journal of molecular biology. 1990. V. 215, № 3. P. 403–410.
6. Гуменюк А.С., Поздниченко Н.Н., Скиба А.А., Шпынов С.Н. Матрица сходства нуклеотидных последовательностей по их компонентам. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2017616679. 2017 г.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ТЕЛЕФОННЫЙ СПРАВОЧНИК ПРЕДПРИЯТИЯ» НА ОСНОВАНИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК

А.С. Астахова, Т.В. Кузнецова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
alinor_96@mail.ru, tvk16@tpu.ru

Телефонный справочник предприятия является информативной и полезной системой для любой крупной фирмы. Каждое такое предприятие имеет большую базу сотрудников, которые взаимодействуют друг с другом. Для оптимизации связи между работниками создаются телефонные справочники предприятия.

Каждая организация предъявляет определенный набор требований, которым должна отвечать информационная система (далее – ИС), поэтому сложно найти готовое решение, которое обеспечит требуемую функциональность.

Целью работы является разработка и внедрение ИС «Телефонный справочник предприятия» ООО «Газпром трансгаз Томск».

В ходе работы были проанализированы требования, которые предъявляет ООО «Газпром трансгаз Томск» к ИС «Телефонный справочник предприятия». Программа должна предоставлять пользователю возможности для получения необходимой информации о его сотрудниках. Со справочником должны работать:

1. Все работники предприятия, которые могут осуществлять просмотр и поиск информации по подразделению, отделу, сотруднику. Основная информация о сотрудниках берется из службы Active Directory. Кроме того должна быть интеграция ИС с системой обмена мгновенными сообщениями «Microsoft Lync» и, для отображения статуса нахождения на месте каждого из работников, с кадровой системой «БОСС-Кадровик». Также должна быть форма обратной связи для отправки сообщений об ошибках при работе с системой.

2. Работники службы связи, которые имеют возможность редактировать, добавлять и удалять данные о подразделениях, отделах, сотрудниках.

3. Администраторы, которые предоставляют права на управление данными в системе и имеют все те же возможности, которыми обладают все вышеперечисленные пользователи.

На рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования, отражающая отношения между различными пользователями программы, описывающая возможности системы.

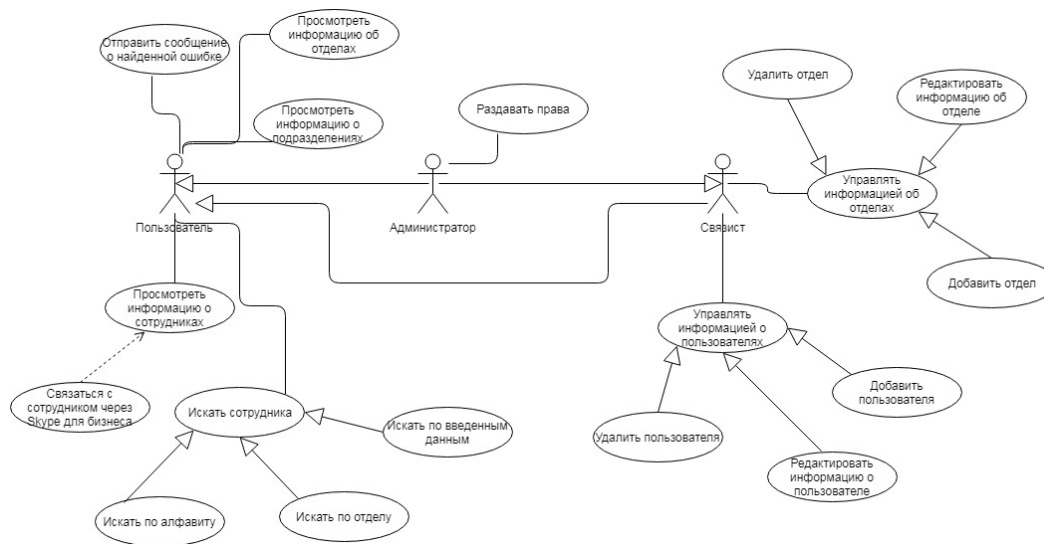


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

Разработка системы ведется на языке с#, с помощью технологии ASP.NET шаблон MVC, база данных создавалась с помощью СУБД MS SQL Server.

Эксплуатация должна осуществляться в условиях, при которых ПК может осуществлять нормальную работу. Пользователь не должен обладать специальной квалификацией.

Результатом работы является создание информационной системы, реализующей весь необходимый функционал телефонного справочника предприятия.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

И.Ю. Гендрина, М.А. Алексеенко

Национальный Исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
igendrina@bk.ru

В предыдущих работах для установления закономерностей формирования оптических сигналов нами был использован один из методов статистического исследования, хорошо зарекомендовавший себя в различных научных областях – корреляционно-регрессионный анализ. В частности, были построены и проанализированы регрессионные зависимости углового распределения яркости от длины волны и геометрических параметров слоя повышенной мутности (например, слоя сплошной облачности). В настоящей работе мы продолжаем использовать для анализа результатов моделирования статистические приемы, одним из которых является аппарат фиктивных переменных. С его помощью мы хотим оценить возможность выявления признака в массиве данных, например, геометрических параметров слоя сплошной облачности.

Кроме того, в последние годы для установления тенденций изменения радиационных характеристик атмосферы при решении задач погоды и климата широко используется такая модификация гармонического анализа как вейвлет-анализ. С его помощью возможно установление устойчивых периодических изменений тех или иных характеристик. Мы хотим использовать этот аппарат для исследования зависимостей в системах видения через атмосферу.

Сравнив результаты статистической обработки данных имитационного моделирования, пытаемся дать рекомендации по использованию описанных методов в теории видения и указать область их применимости.

Литература

1. *Gendrina I.Yu., Kvach A.S.* The Monte Carlo method for determining the vision system characteristics.// J. of International Scientific Publication: Education Alternatives. 2013. Vol. 11, pt 1. P. 236–244.
2. *Алексеенко М. А., Гендрина И.Ю.* Регрессионный анализ результатов имитационного моделирования переноса излучения в системах видения через атмосферу.// Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 11-2. С. 7–9.
3. *Wooldridge J.M.* Introductory econometrics: a modern approach. Cengage Learning, 2009. 865 p.
4. *Torrenc C., Compo G.P.* A Practical Guide to Wavelet Analysis// Bull. Amer. Soc. 1998. V. 79, № 1. P. 61–78.
5. *Чернокульский А.В., Мохов И.И.* Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям// Исследование Земли из космоса. 2010. № 3. С. 12–29.

ПРОЕКТНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНАХ ВЛАСТИ

К.В. Збыковский, А.В. Карнов

ООО «НПО «САПФИР», Екатеринбург, Россия
zkv@nposapfir.ru

Еще в 2015 г., выступая с посланием Федеральному собранию, В.В. Путин выделил проектное управление в качестве одного из основных инструментов эффективного управления в органах государственной власти.

На текущий момент разработаны методические рекомендации от Министерства экономического развития и Министерства связи и массовых коммуникаций, а также постановление Правительства РФ № 1050 от 15 октября 2016 года «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации», которое на всех уровнях субъектов и муниципалитетов используется в качестве образца.

Для успешного перехода к проектной модели управления [1-3] в государственных органах власти крайне важно внедрить три вспомогательных процесса [4]:

1. «Управление мотивацией участников проекта» – необходима проработка ключевых показателей эффективности как всего проекта в целом, так и каждого участника по отдельности.

2. «Управление компетенциями» – требуется организовать всеобщее обучение методологии управления проектами, начиная с высших должностных лиц органа власти и завершая сотрудниками – исполнителями в проекте. Без их общей вовлеченности и владения терминологией и принципами успех не возможен. Одним словом, весь орган исполнительной власти должен работать как один организм и при этом по-новому.

3. «Организационная поддержка проектной деятельности» – для успешного перехода к проектной модели управления необходимо создать соответствующую базу: разработать нормативные документы, переписать должностные инструкции, выделить новые роли, реорганизовать организационную структуру, модернизировав функциональную модель управления.

Результатом преобразований должен стать проектный комитет, который будет принимать управленческие решения по проектам на долгосрочный и среднесрочный периоды, и проектный офис, который будет состоять из опытных руководителей проектов и осуществлять поддержку проектных команд.

Основной целью проектного управления является не обеспечение реализации проекта, а повышение **вероятности** его успешного завершения.

Однако существует ряд сложных моментов, который замедляет процесс перевода государственных органов власти на проектные методы управления [5]:

– проектное управление воспринимается как дополнительная нагрузка на специалистов всех уровней и очередное непонятное нововведение;

– не урегулирована организация информационного взаимодействия между механизмами управления государственными программами и методами проектного управления;

– не предусмотрен механизм реагирования на риски – нет основания с точки зрения бюджетного законодательства предусматривать средства на события, которые могут и не произойти;

– отсутствие полноценных проектных команд – функциональные обязанности задействованных в проекте людей становятся размытыми, а зоны ответственности нечёткими.

Все эти ошибки удалось избежать в Свердловской области. Проектный офис в Свердловской области создан Указом Губернатора.

Реализуемые на территории Свердловской области проекты всех уровней управления, регионального и местного, направлены на ключевые приоритеты, обозначенные в программе губернатора Свердловской области «Пятилетка развития». В заседаниях совета по приоритетным стратегическим проектам, которые проводит глава региона, принимают участие все главы муниципалитетов, что обеспечивает вовлеченность руководителей в реализацию проектов и единое стратегическое видение развития Среднего Урала.

Уровень организации проектной деятельности в Свердловской области высоко отмечен экспертами на площадке Красноярского экономического форума «Россия 2018-2024: реализуя потенциал», который проходил с 12 по 14 апреля 2018 года. В специальном рейтинге регионов, начавших внедрение проектного управления в прошедшем году, Свердловская область вошла в ТОП-5, заняв третью позицию.

Литература

1. ГОСТ Р 54869-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом».
2. ГОСТ Р 54869-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов»
3. ГОСТ Р ИСО 21500-2014 «Руководство по проектному менеджменту»
4. *Полковников А.В., Дубовик М.Ф.* Управление проектами. Полный курс МВА. М. : Олимп-Бизнес, 2013. 552 с.
5. *Бабаскин С. Я.* Инновационный проект. Методы отбора и инструменты анализа рисков : учеб. пособие. М. : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2014. 240 с.

АППРОКСИМАЦИЯ МС-ПОТОКОМ ВРЕМЕННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЙ

С.С. Катаева¹, С.Г. Катаев²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия
sskataeva@sibmail.com, sgkataev@sibmail.com

В работе предлагается использовать модель МС-потока [1] для описания временных последовательностей однородных природных явлений с целью выделения их структур и, возможно, обнаружения латентных закономерностей.

Поскольку, как правило, относительно исследуемого потока известны лишь времена наступления событий, в данной работе предлагается подход, использующий идеологию *метода выделения структур* [2], для определения параметров МС-потока, который мог бы аппроксимировать реальный информационный поток по наблюдениям за моментами наступления событий потока [3,4]. Описанный подход был использован для исследования последовательностей времен наступления землетрясений в регионах разного масштаба. Данные о временах наступления событий были получены из источников специализированной сети обработки данных геофизических служб РАН [5].

Пример 1. Регион Кавказа, 2015 год. Всего за год произошло 2454 землетрясения. Значения магнитуды при этом варьировались от величины меньше 1 балла до 5.8. Весь поток был разбит на 12 частей (строго по месяцам) и определялись параметры потока за каждый месяц. Выделилось 102 интервала стационарности с разной интенсивностью, в пределах от 2 до 20.

Вторичная классификация по интенсивностям позволила аппроксимировать весь поток МС-поток с 4 состояниями с интенсивностями, равными, соответственно: 5.8, 12.6, 4.5, 20.1. Больше всего событий принад-

лежит первому состоянию с интенсивность 5.8. Это означает, что данный регион, как правило, находится в состоянии, в котором происходит почти 6 землетрясений в сутки. Однако встречаются периоды, когда интенсивность событий резко возрастает до 20 событий за сутки.

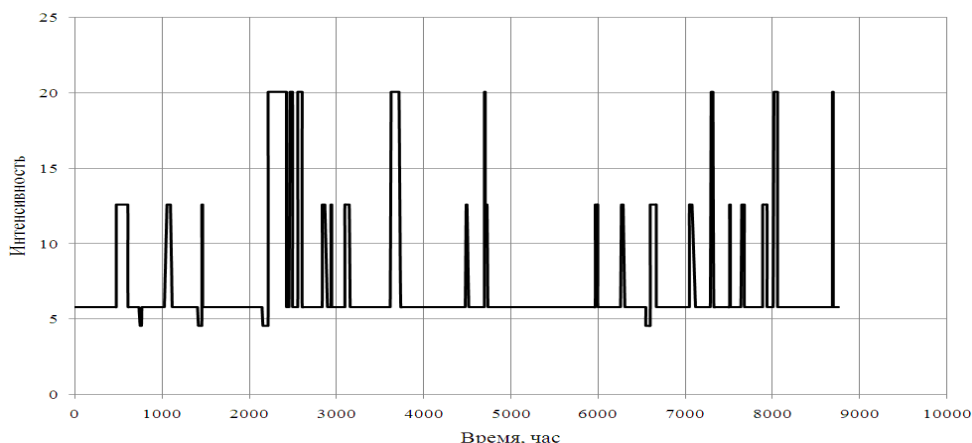


Рис. 1. Результирующее распределение событий по состояниям для ареала Кавказа

Пример 2. Весь земной шар. 2016 год. Данные РАН для всей планеты ограничиваются событиями с магнитудой не меньше 4 баллов. Всего таких событий за 2016 год 3116. Были проведены аналогичные исследования за каждый месяц. Получено 136 интервалов стационарности. Аппроксимирующий поток имеет 7 состояний с интенсивностями от 5 до 28.

По мнению авторов, предложенный подход перспективен в сочетании с другими традиционными методами пространственно-динамического анализа.

Литература

1. Беккерман Е.Н., Катаев С.Г., Катаева С.С. Об одном алгоритме распознавания МС-потока событий // Вестник Томского государственного университета. 2000. № 271. С. 41–45.
2. Катаев С.Г., Катаев М.Ю. Математический формализм и алгоритм структурирования многомерных данных // Ползуновский вестник. 2012. № 2/1. С. 99–103.
3. Беккерман Е.Н., Катаев С.Г., Катаева С.С., Д.Ю. Кузнецов. Аппроксимация МС-поток реального потока событий // Вестник ТГУ. Приложение. 2005. № 14. С. 248–252.
4. Bekkerman E.N., Kataev S.G., Kataeva S.S. Heuristic approximation method for a random flow of events by an mc-flow with arbitrary number of states // Automation and Remote Control. 2013. Т. 74, № 9. С. 1449–1459.
5. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl>

Секция 6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ДИСКРЕТНЫХ СТРУКТУР

ТЕСТИРОВАНИЕ JAVA ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТА FSMTEST2JUNIT*

С.В. Батрацкий, С.А. Прокопенко, М.Л. Громов, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
pride080993@gmail.com, s.prokopenko@sibmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com, nataliamailbos@mail.ru

Тестирование программных реализаций является актуальной задачей, поскольку данные реализации могут быть не лишены различного рода ошибок, возникающих в процессе программирования. Поэтому в данной работе мы обращаемся к задаче обнаружения ошибок в программных реализациях, написанных на языке Java. Разработчики программ при тестировании своих продуктов, как правило, ограничиваются проверкой некоторых условий, например, что значения некоторой переменной не выходят за границы области допустимых значений типа данной переменной. Такая проверка позволяет обнаружить некоторые ошибки в программах, но полностью теста оценить трудно.

В работе мы предлагаем другой подход к тестированию программных реализаций. Его идея заключается в следующем. Сначала по программе строится математическая модель, так называемый расширенный автомат [1]. Поскольку методы синтеза тестов для расширенных автоматов недостаточно развиты, то поведение расширенного автомата моделируется на последовательностях определенной длины и строится эквивалентный конечный автомат [2]. Затем для конечного автомата строится проверяющий тест одним из методов, которые содержатся в пакете прикладных программ FSMTest-2.0 [3, 4], разработанном для анализа и синтеза конечных автоматов. Далее построенный тест с помощью плагина FSMTest2JUnit для среды разработки eclipse подается на программную реализацию. Встроенный в eclipse инструмент JUnit сравнивает реакции реализации с эталонными реакциями на последовательности теста и выносит вердикт, обнаруживает ли построенный тест ошибки в программной реализации.

Для тестирования мы выбрали программу `ndfsm_test` на языке Java пакета FSMTest-2.0. Состояниям расширенного автомата, описывающего поведение класса, поставлены в соответствие наборы значений полей экземпляра класса, а входо-выходным парам, помечающим переходы, – методы класса и значения, возвращаемые вызванным методом. Поскольку программа `ndfsm_test` имеет один класс, и мы рассматривали лишь методы `getInputs`, `getOutputs`, `addState`, `addInput`, то расширенный автомат, построенный для `ndfsm_test`, имеет одно состояние и четыре перехода. По расширенному автомату путем моделирования на входных последовательностях длины 3 строится конечный автомат. Полученный конечный автомат имеет 3 состояния, 9 переходов и является неполностью определенным. Проверяющий тест для конечного автомата построен HSI методом, программная реализация которого включена в пакет FSMTest-2.0, и тест состоит из 10 входо-выходных последовательностей. Затем при помощи плагина FSMTest2JUnit построенный тест конвертируется в соответствующий JUnit тест. Встроенный в eclipse инструмент JUnit проверяет программу `ndfsm_test`.

В результате проведенной проверки установлено, что в методах `getInputs` и `getOutputs` содержатся ошибки. Оказалось, что, вопреки ожиданиям, те методы, которые должны менять поля экземпляра класса (менять состояние соответствующего автомата) этого не делают, поскольку данные поля фиксируют свои значения после вызова конструктора класса и более в течение жизни объекта не меняются.

Данная ошибка не обнаруживается при стандартном сценарии использования JUnit, поскольку этот сценарий предполагает вызов одного и того же метода класса на различных наборах входных параметров (граничное тестирование). Использование формальных моделей для тестирования позволило сформировать последовательность вызовов *различных* методов с различными параметрами, приводящую к обнаружению ошибки.

Литература

1. Petrenko A., Boroday S., Groz R. Confirming configurations in EFSM testing // IEEE Trans. Software Eng. 2004. № 30(1). P. 29–42.
2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М. : Наука, 1966. 272 с.
3. Shabalдина N., Gromov M. FSMTest-1.0: a manual for researches // Proceeding IEEE East-West Design & Test Symposium. 2015. P. 216–219.
4. Батрацкий С.В., Белых В.С. К программной реализации пакета прикладных программ «FSMTest-2.0» // Труды Четырнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск, 17–18 мая 2017 г. / под ред. В.В. Дёмина. Томск : Изд-во НТЛ, 2017. 132 с.

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

РАЗРАБОТКА XML-ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ АВТОМАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ*

В.С. Болтова, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
viktoria.boltova@mail.ru, nataliamailbox@mail.ru

Многие современные системы, как программные, так и аппаратные, ориентированы на совместное функционирование. Например, это веб-сервисы, телекоммуникационные протоколы и т.д. Для тестирования совместной работы таких систем часто требуется формальное описание их взаимодействия. И если отдельную систему можно описать при помощи модели конечного автомата [1, 2], то при некоторых ограничениях взаимодействие таких систем также может быть описано автоматом в результате построения соответствующей композиции [2]. Под конечным автоматом понимается модель дискретной системы с памятью, преобразующей входные последовательности в выходные, более формальное определение автоматов дано в [1, 2]. Под композицией автоматов понимается совместная работа двух и более автоматов. При этом автоматы могут быть соединены различными способами, а также работать в различных режимах. Два крайних варианта режима работы компонент – это синхронная и параллельная композиции [2].

Синхронная композиция предполагает наличие глобального синхросигнала, позволяющего всем компонентам системы по этому сигналу принять соответствующий входной сигнал, перейти из текущего состояния в следующее и произвести выходной сигнал. Компоненты системы работают согласованно. Инструмент BALM [3] позволяет автоматически построить синхронную композицию автоматов из двух компонент (бинарную синхронную композицию).

В параллельной композиции отсутствует глобальный сигнал, компоненты взаимодействуют в режиме диалога и в каждый момент времени активной является только одна компонента. Например, телекоммуникационные протоколы и веб-сервисы обычно работают в режиме диалога. Для автоматического построения бинарной параллельной композиции автоматов можно использовать инструмент BALM-II [4].

Оба эти инструмента имеют ограничение на число компонент, кроме того, в файлах, задающих композитруемые автоматы, жестко определяются каналы композиции. Цель данной работы – убрать эти ограничения. Для этого планируется вынести описание структуры и режима работы композиции отдельно, используя для этого какой-либо язык разметки. В качестве такого языка был выбран XML [5] – расширяемый язык разметки. Расширение XML – это конкретная грамматика, созданная на базе XML и представленная словарём тегов и их атрибутов, а также набором правил, определяющих, какие атрибуты и элементы могут входить в состав других элементов [5]. Таким образом, можно создавать свои теги, в том числе для описания различных моделей. Документы XML формата понятны и доступны, благодаря адаптивности, расширяемости и легкости в обработке. С помощью языка XML можно описать композицию, состоящую более чем из двух компонент.

На данный момент удалось разработать набор XML-тегов, позволяющих задать структуру композиции. Описание каждого элемента возможно при помощи специального тега с атрибутами, определяющими свойства этого элемента. Атрибуты и их значения задаются в виде пары <имя> = “значение”. Например, мы ввели тег <FSM name="waiter" id="x">, где атрибутами являются name и id, а их значениями – waiter и x соответственно.

Теги могут быть вложенными, т.е. XML – файл имеет древовидную структуру. У корневого элемента могут быть дочерние элементы и их может быть несколько. Например, введенный нами тег <channels num="4"> задает количество каналов и является корневым элементом, а дочернем (вложенным) является тег <channel id="1">, задающий первый канал.

В дальнейшем планируется разработать набор XML-тегов, позволяющих задать режим работы композиции. Наличие XML-описания структуры и режима работы композиции позволит в дальнейшем расширить возможности инструментов для автоматического построения композиции.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию автоматов. М. : Наука, 1966. 272 с.
2. Евтушенко Н.В., Рекун М.В., Тихомирова С.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Часть 2: Решение автоматных уравнений : учеб. пособие. Томск : Томский государственный университет, 2009. 111 с.
3. URL: <https://embedded.eecs.berkeley.edu/Respec/Research/mvsi/balm.html> (date of access: 06.04.2018).
4. Castagnetti G., Piccolo M., Villa T., Yevtushenko N., Mishchenko A., Robert K. Brayton. Solving Parallel Equations with BALM-II // Technical Report No. UCB/EECS-2012-181, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley. 2012. URL: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2012/EECS-2012-181.pdf> (date of access: 06.04.2018).
5. Одиночкина С.В. Основы технологий XML. СПб. : НИУ ИТМО, 2013. 56 с.

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

О ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКЕ ДЛИНЫ КРАТЧАЙШЕЙ УСТАНОВОЧНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АВТОМАТОВ

Е.М. Винарский

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
vinevg2015@gmail.com

Модель недетерминированного автомата широко используется при анализе и синтезе дискретных управляющих систем. Одной из задач анализа является построение специальных входных последовательностей, позволяющих идентифицировать текущее состояние системы; такие последовательности называются установочными или синхронизирующими. В настоящее время не известна точная верхняя оценка на длину установочной последовательности для недетерминированных наблюдаемых автоматов, и в этой работе мы иллюстрируем, что существует класс полностью определённых недетерминированных наблюдаемых автоматов с числом состояний $n \geq 3$, для которых длина кратчайшей установочной последовательности может превышать величину $2^{n-1} - 1$, достижимость которой доказана в работе [1].

Под *конечным автоматом* (или просто *автоматом*) [2] понимается четвёрка $M = (S, I, O, T_S)$, где S – конечное непустое множество состояний, I и O – конечные непустые входной и выходной алфавиты и $T_S \subseteq S \times I \times O \times S$ – отношение переходов. Если в автомате M для любой пары $(s, i) \in (S \times I)$ существует, по крайней мере, одна пара $(o, s') \in (O \times S)$ такая, что $(s, i, o, s') \in T_S$, то автомат называется *полностью определённым*. Автомат M называется *недетерминированным*, если для некоторой пары $(s, i) \in (S \times I)$ существует несколько пар $(o, s') \in (O \times S)$ таких что $(s, i, o, s') \in T_S$. Если в M для любой тройки $(s, i, o) \in (S \times I \times O)$ существует не более одного состояния $s' \in S$ такого, что $(s, i, o, s') \in T_S$, то автомат называется *наблюдаемым*. Через $out(s, \alpha)$ обозначим множество выходных последовательностей, которые автомат может выдать в состоянии s на входную последовательность α ; $next_state(s, \alpha/\beta)$ обозначает состояние, в которое автомат может перейти из состояния s под действием последовательности α при выходной последовательности β . Мы рассматриваем полностью определённые недетерминированные наблюдаемые автоматы. В таком автомате M входная последовательность α называется *установочной*, если для каждой пары $(s_1, s_2) \in S$ имеет место следующее свойство: $\forall \beta \in out(s_1, \alpha) \cap out(s_2, \alpha) [next_state(s_1, \alpha/\beta)] = [next_state(s_2, \alpha/\beta)]$.

В [1] доказана теорема, что существует класс автоматов с $n \geq 3$ состояниями, для которых длина кратчайшей установочной последовательности достигает величины $2^{n-1} - 1$. Автор отмечает, что, неизвестно, является ли эта величина точной верхней оценкой, поэтому мы реализовали такой класс автоматов и провели эксперименты для оценки длины установочной последовательности для автоматов данного класса, расширенных дополнительными переходами. Нами экспериментально показано, что величина $2^{n-1} - 1$ не является точной верхней оценкой, т.к. при различных $n < 13$ длина кратчайшей установочной последовательности превосходила $2^{n-1} - 1$, в частности для $n = 4$, её длина была больше 10.

Литература

1. Kushik N., Yevtushenko N. On the Length of Homing Sequences for Nondeterministic Finite State Machines // Lecture Notes in Computer Science. 2013. № 7982. P. 220–231.
2. Евтушенко Н.В., Петренко А.Ф., Ветрова М.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез : учеб. пособие. Ч. 1. Томск : Том. гос. ун-т, 2006. 142 с.

ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ РАЗЛОЖЕНИЯ СИММЕТРИЧЕСКИХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Д.А. Городецкий¹, Т. Вилла²

¹Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

²Университет Вероны, Верона, Италия
danila.gorodecky@gmail.com, tiziano.villa@univr.it

Использование различных свойств и представлений булевых функций (БФ) при реализации различных вычислительных операций может привести к более эффективным аппаратным реализациям, по сравнению с широко используемыми общими подходами. Например, применение симметрических БФ (СБФ) при реализации сумматоров и умножителей. С одной стороны, сложение и умножение являются коммутативными операциями. С другой стороны, СБФ определяются как «коммутативный» класс функций (так как значение СБФ зависит от числа единиц на входном наборе и не меняет своего значения от любой перестановки переменных в своем представлении). Таким образом, СБФ являются естественным аппаратом описания устройств, реализующих коммутативные операции в цифровой электронике.

Среди представлений БФ от n переменных (дизъюнктивные нормальные формы (ДНФ), пороговые и мажоритарные представления, таблицы истинности и др.) полиномиальные представления (т.е. представления Рида-Маллера) имеют ряд преимуществ (и недостатков), такие, например, как компактность: они могут привести к большей производительности и уменьшить количество используемых блоков в ПЛИС и общий размер СБИС. Однако основным недостатком использования полиномиальных форм является сложность их преобразования из совершенного ДНФ (СДНФ), а именно вектора значений таблицы истинности, который состоит из 2^n значений (т.е. столбец значений функции) в вектор коэффициентов полинома, содержащий также 2^n значений.

Из определения СБФ следует, что произвольная функция из этого класса может быть представлена $(n + 1)$ -битным набором – локальным кодом, в котором i -я ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) компонента эквивалентна значению БФ, содержащей ровно i единиц на любом из своих двоичных наборов.

Формально любая арифметическая операция может быть описана посредством системы СБФ. Например, умножение $A \cdot B = R$ может быть представлено с помощью системы $2n$ СБФ $R = (R_{2n}, R_{2n-1}, \dots, R_1)$, где $A = (a_n, a_{n-1}, \dots, a_1)$ и $B = (b_n, b_{n-1}, \dots, b_1)$. Фактически, в этом случае СБФ R_j ($j = 1, 2, \dots, 2n$) зависит от $2n$ переменных. Каждая СБФ, входящая в систему и описывающая умножение, может быть представлена одним из двух способов: локальным кодом или так называемым вектором полиномиальных значений. Оба набора описывают одну и ту же БФ, но в векторе полиномиальных значений элементы отсортированы по мере увеличения ранга слагаемых, входящих в разложение заданной функции. Формирование таких векторов для всех СБФ позволяет выделить общие слагаемые, входящие в состав различных функции системы, что в свою очередь позволяет снизить аппаратные затраты при реализации схемы умножителя. Преобразование локального кода в вектор полиномиальных значений (и обратно) можно осуществить одним из тех же методов, как и преобразование вектора СДНФ в вектор коэффициентов полинома.

Единица на i -й ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) позиции в векторе полиномиальных значений определяет, входят ли в разложение СБФ все конъюнкции ранга i или нет. Такой подкласс СБФ носит название полиномиально-однородных СБФ (ПОСБФ). Например, пусть система СБФ состоит из двух функций F_1 и F_2 , которые представляются векторами полиномиальных значений $\gamma(F_1) = (01001001)$ и $\gamma(F_2) = (01001100)$ и зависят от семи переменных. Функция F_1 состоит из ПОСБФ рангов 1, 4 и 7. Функция F_2 состоит из ПОСБФ рангов 1, 4 и 5. ПОСБФ ранга 1 состоит из 7 слагаемых; ПОСБФ ранга 4 состоит из 35 слагаемых; ПОСБФ ранга 5 состоит из 21 слагаемого; ПОСБФ ранга 7 состоит из 7 слагаемых. Таким образом, ПОСБФ ранга 1 и 4 являются общими при реализации обеих функций, что, в общем, составляет 42 общих конъюнкции.

Такой подход к реализации устройств является двух уровневый, в котором на элементы И первого уровня поступают значения ψ входных сигналов, где ψ – это суммарное число бит, от которых зависит каждая из функций, а элементами второго уровня, на выходах которых формируются значения функций системы, являются элементы СЛОЖЕНИЕ ПО МОДУЛЮ ДВА.

Наш доклад посвящен описанию нового подхода к проектированию вычислительных блоков цифровых устройств, основанный на применении СБФ. В докладе демонстрируются некоторые эффективные методы преобразования вектора СДФ в вектор коэффициентов полинома, а также преобразования локального кода в вектор полиномиальных значений. В рамках данного подхода, также требуется нахождение более эффективной поляризации переменных в полиномиальной форме разложения. На основании предлагаемого метода разработан ряд арифметических блоков, на которые получены патенты на изобретения.

О СИНХРОННОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АВТОМАТОВ

И.Б. Бурдонов¹, Н.В. Евтушенко^{1, 2}, А.С. Косачев¹, В.З. Шнитман¹

¹ Институт системного программирования РАН, Москва, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
igor@ispras.ru, nyevtush@gmail.com, kos@ispras.ru, vzs@ispras.ru

Многие сложные системы представляются как композиция более простых в некотором смысле систем. Синхронная композиция соответствует одновременной работе всех каналов композиции и обычно используется при описании работы многомодульных аппаратных систем. Поведение аппаратных компонентов обычно описывается полностью определенными детерминированными автоматами, и вообще говоря, проектировщик ожидает, что и поведение всей композиции также описывается таким автоматом [1-3]. Несмотря на большое количество работ в этой области, в настоящий момент неизвестны необходимые и достаточные условия, при которых это возможно. В работе [1] авторы рассматривают синхронную композицию только автоматов Мура, т.е. автоматов, в которых выходной символ зависит только от текущего состояния автомата, т.е. не зависит от текущего входного символа. В монографии [2] авторы показывают, что, вообще говоря, достаточно иметь один автомат Мура в каждом цикле автоматной композиции. В работе [3] авторы уточняют это условие, требуя, чтобы в каждом цикле композиции из двух компонентов, по крайней мере, один внутренний выходной символ не зависел от внутреннего входного символа. Еще одно интересное условие, основанное на прогрессивном решении соответствующего автоматного уравнения, доказывается в [2]. Однако построение таких прогрессивных

решений достаточно трудоемко, и это условие в очередной раз рассматривается только для бинарной синхронной композиции. В настоящей работе мы рассматриваем синхронную композицию из конечного числа компонентных автоматов, каждый из которых может иметь несколько входных и выходных портов, соединенных каналами, и формулируем достаточное условие для описания поведения синхронной композиции детерминированным полностью определенным автоматом.

Рассмотрим систему \mathcal{A} взаимодействующих автоматов-компонентов, полагая, что множества состояний и портов автоматов-компонентов попарно не пересекаются. Каждый из автоматов является детерминированным и полностью определенным. Без ограничения общности, мы полагаем, что каждый канал соединяет в точности два порта (выходной и входной порты). Если это не так, то необходимое количество буферов может быть добавлено в систему автоматов. Как обычно, мы полагаем, что порты, соединенные каналом, имеют один и тот же алфавит, символы которого подаются / снимаются на / с соответствующий порт. Входные и выходные порты, не соединенные каналом с другими портами, образуют множества внешних входных и выходных портов, каждое из которых не является пустым. Поведение такой композиции можно описать автоматом [2], однако в общем случае этот автомат может быть недетерминированным и частичным. Пара (i, j) , где i и j суть входной и выходной порты некоторого автомата-компонента, будем называть *муровской*, если выходной символ в порту j не зависит от входного символа порта i . Последовательность пар $(p^{in}_1, p^{out}_1), \dots, (p^{in}_m, p^{out}_m)$, где каждая пара $(p^{out}_{j-1}, p^{in}_j), j = 2, \dots, m$, соединена каналом, есть *путь* в системе \mathcal{A} . Путь называется *циклом*, если пара p^{out}_m и p^{in}_1 соединена каналом.

Мы предлагаем построить для системы \mathcal{A} специальный граф зависимостей G_{dep} . Вершинами графа являются порты всех автоматов-компонентов и вершины, соответствующие текущему состоянию каждого автомат-компонента. Если пара <выходной_порт, входной_порт> соединена каналом, то в графе есть дуга из выходного порта во входной порт. Если пара <входной_порт, выходной_порт> принадлежит одному автомату-компоненту, в котором эта пара не является муровской, то графе есть дуга из входного порта в выходной порт. Из вершины, соответствующей текущему состоянию автомата-компоненты, в графе есть дуги во все выходные порты этой компоненты. Мы доказываем следующее утверждение.

Теорема. Граф G_{dep} ациклический, если каждый цикл в системе \mathcal{A} содержит муровскую пару.

На основе сформулированной выше теоремы можно показать, что выходной символ в каждом выходном порту системы \mathcal{A} полностью определяется текущими состояниями автоматов-компонентов и входным символом на внешних входных портах, т.е. синхронная композиция детерминированных полностью определенных автоматов является полностью определенным детерминированным автоматом, если каждый цикл в системе \mathcal{A} содержит муровскую пару. Тем не менее, мы отмечаем, что, несмотря на то, что сформулированное условие имеет место для значительно более широкого класса композиций, это условие не является необходимым и достаточным.

Литература

1. Hartmanis J., Stearns R.E. The algebraic structure theory of sequential machines. N.Y. : Prentice-Hall, 1966. 210 p.
2. Villa T., Yevushenko N., Brayton K.R., Mishchenko A., Petrenko A., Sangiovanni-Vincentelli A. The Unknown Component Problem: Theory and Applications. Springer, 2012. 312 p.
3. Kam T., Villa T., Brayton K. R., Sangiovanni-Vincentelli A. Synthesis of FSMs: Functional Optimization. Springer, 1997. 282 p.

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ САМООБУЧАЮЩИХСЯ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ*

А.В. Лапутенко, С.Н. Торгаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
laputenko.av@gmail.com, torgaev@tpu.ru

В данной работе приведено сравнение производительности реализаций нейронной сети типа однослойный перцептрон и логической схемы, построенной по данной нейронной сети. Сравнение проводилось на примере задачи классификации.

Для работы с нейронной сетью использовалась библиотека языка С «Fast Artificial Neural Network» FANN [1], позволяющая как создавать нейронные сети с различными параметрами, так и обучать их. Для проведения экспериментов случайным образом была сгенерирована нейронная сеть типа однослойный перцептрон со следующими параметрами: количество входных нейронов: 10; количество нейронов на скрытом слое: 20; количество выходных нейронов: 1; вид функции активации нейронов: гиперболический тангенс. Выходом нейронной сети является вещественное число в диапазоне [-1;1]. Данный диапазон был разделен на два поддиапазона, таким образом данная нейронная сеть решала задачу классификации входных данных на два класса.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-49-03012.

Обучение нейронной сети не производилось, так как в данных экспериментах не ставилась задача оценки точности классификации. В качестве весовых коэффициентов использовались случайные значения, устанавливаемые по умолчанию при создании нейронной сети.

На следующем этапе была использована логическая схема, синтезированная по нейронной сети, описанной ранее. Схема была синтезирована с помощью системы ABC [2] в формате PLA согласно подходу, описанному в [3]. При таком подходе, логическая схема является масштабируемым представлением нейронной сети, которая в свою очередь дает задание на синтез логической схемы. Использование логических схем в качестве самообучающихся моделей оправдано, в частности, при решении различных задач предсказания уровня удовлетворенности конечного пользователя различными сервисами, а также уровня доверия для приложений и мобильных устройств с ограниченными вычислительными возможностями.

Описание логической схемы, предоставленное системой ABC, было реализовано в виде программы на языке C. Измерение производительности двух реализаций проводилось путем измерения времени, затрачиваемого каждой реализацией на обработку одного входного вектора. Программная реализация нейронной сети и программная реализация логической схемы были запущены на одинаковых случайных входных данных 1000 раз. Эксперименты проводились на компьютере с процессором Intel® Core™ i5-3210M с частотой 2,5 ГГц, с 8 ГБ оперативной памяти под управлением операционной системы GNU/Linux Ubuntu 14.04. Среднее время обработки одного входного значения нейронной сетью составило 0,0021 с, среднее время для логической схемы – 0,0016 с. Полученные экспериментальные результаты иллюстрируют эффективность применения логической схемы в качестве масштабируемого представления самообучающихся моделей в задачах классификации.

Литература

1. *Nissen S.* Implementation of a Fast Artificial Neural Network Library (fann). Department of Computer Science University of Copenhagen (DIKU). 2003. 88 p.
2. *Brayton R., Mishchenko A.* ABC: An academic industrial-strength verification tool // Proceedings of the CAV. LNCS 6174. 2010. P. 24–40.
3. *Kushik N., Yevtushenko N., Cavalli A.R., Mallouli W., Pokhrel J.* Evaluating Web Service QoE by Learning Logic Networks // Proceedings of the 10th International Conference on Web Information Systems and Technologies. P. 168–176.

ВЕРИФИКАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ FORMALPRO В СИСТЕМЕ ЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАКАЗНЫХ КМОП СБИС

И.П. Логинова

Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
irilog@mail.ru

Производители, осуществляющие разработку сложных электронных изделий, в настоящее время применяют широкий набор инструментальных средств компании Mentor Graphics, ориентированных на проектирование и верификацию HDL решений, которые позволяют повысить эффективность процессов разработки, проектирования и верификации на всех уровнях – от концептуального замысла до реализации на уровне кристалла. Базовой средой и ядром верификации проектируемой системы, а также средой разработки и верификации тестового окружения является система ModelSim. При движении проекта по этапам маршрутов проектирования или тестирования, внесении или добавлений различных изменений на RTL или вентильном уровне, а также при регрессионном тестировании объекта верификации, часто возникает задача контроля эквивалентности двух объектов, решением которой занимается система формальной верификации FormalPro.

Задача регрессионного тестирования возникает, как правило, при интеграции мелких функциональных блоков в более крупные, при выполнении операций логического и физического синтеза, при внесении изменений в схему проекта и т.п. По мере приближения проекта к завершению, объем и детализация проекта растут, повышаются требования к производительности моделирования, поскольку при увеличении числа компонентов и состояний проекта комбинаторно увеличивается объем тестов и время их выполнения. Данная проблема также решается методом контроля эквивалентности, реализуемым системой FormalPro, которая не требует моделирования тестовых воздействий, что позволяет выполнить верификацию на порядок быстрее. В инструменте FormalPro применяются следующие методы формальной верификации: дедуктивный анализ, проверка эквивалентности, основанная на утверждениях верификация, проверка модели. Формальная верификация может работать как на RTL, так и на вентильном уровне (например, осуществлять проверку эквивалентности схемы на уровне транзисторов и RTL-модели), поддерживает проекты практически неограниченного объема и многопроцессорную обработку. Важным преимуществом FormalPro, является то, что обеспечивается высокое качество верификации. К сожалению, формальные методы верификации включены в САПР, работающие только на ОС Sun Solaris и Linux.

Поэтому в САПР КМОП-ЛД проектирования КМОП-схем с пониженным энергопотреблением [1] предложен подход, основанный на использовании технологии VirtualBox (компания Oracle), запуске виртуальной ОС Linux в качестве «песочницы» (sandy box) для предустановленной системы FormalPro, в которую подаются RTL-описание схемы и описание схемы, заданное исходным алгоритмическим описанием, полученные в разных точках маршрута проектирования цифровой системы, для контроля эквивалентности методами формальной верификации.

VirtualBox – доступная кроссплатформенная программа, представляющая собой систему виртуализации для хост-систем Windows, Linux и Mac OS, имеет надстройку (расширение) гостевой ОС, которая позволяет безопасно использовать ресурсы реальной системы, настроить общие папки для гостевой и хост-системы, обеспечивает возможность переноса данных из основной системы в виртуальную и наоборот. Особенность VirtualBox заключается в наличии средства VirtualBox Manage, которое обеспечивает управление настройками хост-машины и виртуальной гостевой машины из командной строки посредством выполнения sh-скриптов. Команды VirtualBox Manage служат базой запуска разработанного программного средства для организации интеграции, синхронизации и взаимодействия системы FormalPro, находящейся на гостевой машине (ОС Linux) с программным комплексом КМОП-ЛД, размещенным на хост-маchine (ОС Windows). Программное средство состоит из двух частей: первая часть формирует полные RTL-описания двух проектов, представленных на верификацию, т.е. определяет местоположения проектов, выбор типа схемы (комбинационной схемы или схемы с памятью), выбор двух VHDL описаний, включая библиотеки и компоненты. Вторая часть организует работу с помощью команд VirtualBox Manage и многоуровневой системы bash-скриптов, выполняемых на гостевой машине. Назначение этих скриптов: создать директорий проекта верификации в гостевом сеансе Linux; установить права доступа в директории; записать в этот директорий данные для формальной верификации двух RTL-описаний; выполнить скрипт, инициирующий запуск системы FormalPro в нужном режиме; очистить директорий проекта в гостевом сеансе Linux; записать результаты верификации обратно на хост-машину в директорий системы КМОП-ЛД. Использование системы формальной верификации позволяет сократить цикл проектирования за счет верификации на этапах логического и алгоритмического проектирования.

Литература

1. Бибило П.Н., Авдеев Н.А., Кардаш С.Н., Кириенко Н.А., Ланкевич Ю.Ю., Логинова И.П., Романов В.И., Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д. Система логического проектирования функциональных блоков заказных КМОП СБИС с пониженным энергопотреблением // Микроэлектроника. 2018. № 1. С. 72–88.

СИНТЕЗ ЧАСТИЧНО ПРОГРАММИРУЕМЫХ СХЕМ, МАСКИРУЮЩИХ ЛОГИЧЕСКИЕ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ*

А.Ю. Матросова, С.А. Останин, Е.А. Николаева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mau11@yandex.ru, sergeiostanin@yandex.ru, nikolaeva-ea@yandex.ru

В процессе создания схем высокой производительности необходимо обеспечить их корректное функционирование. К сожалению даже на последних этапах производства схем возможно обнаружение неисправностей. В этом случае приходится либо возвращать схему на более ранние этапы ее создания, либо выбрасывать как непригодную к использованию. Подобные ситуации снижают выход годных схем, что весьма нежелательно. В то же время известно, что если в схеме предусмотреть возможность перепрограммирования даже небольшой доли ее фрагментов, исправное функционирование схемы может быть восстановлено. Схемы с перепрограммируемыми фрагментами называются частично программируемыми [1, 2]. В статье [3] предлагается покрывать подсхемы из вентилях программируемыми блоками look-up tables (LUTs), причем, некоторые LUT имеют свободный вход, связанный резервной линией с выходом какого-либо элемента или программируемого блока (LUT) схемы. В статьях [4] авторы либо используют эвристики для выбора мест возможного включения LUT в исходную схему, состоящую только из вентилях, либо считают, что частично программируемая схема задана, и места включения LUT уже выбраны. В данной работе предлагается выбирать места включения LUT, используя информацию о наблюдаемости внутренних линий связей схемы. Вероятностные оценки наблюдаемости вычисляются с помощью операций над Reduced Ordered Binary Decision Diagrams (над ROBDD-графами). ROBDD-графы извлекаются из фрагментов схемы, состоящей только из вентилях. Операции над такими графами характеризуются, как известно, полиномиальной сложностью. Поскольку речь идет о коррекции схемы на заключительных этапах ее производства, естественно предположить, что неисправности проявляются на линиях с низкой наблюдаемостью. Программируемые блоки со свободным входом включаются в схему таким образом, что линия с низкой наблюдаемостью является одним из входов LUT. В работе [4] перепрограммирование LUT сво-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

дится к выполнимости квантифицируемой конъюнктивной нормальной формы, решение которой является PSPACE-полной проблемой. Предлагаемый нами подход связан с перепрограммированием LUT на основе перестановки входных переменных.

Итак, задана комбинационная схема из вентилях (комбинационная часть последовательностной схемы). Необходимо покрыть некоторые ее подсхемы программируемыми блоками (LUTs), так чтобы иметь как можно больше возможностей восстановить корректное функционирование схемы. Предполагается, что сохранившиеся неисправности с большей вероятностью будут проявляться на линиях со слабой наблюдаемостью. Находится множество L таких линий. Предлагается несколько способов покрытия линий из этого множества вместе с соответствующим фрагментом подсхемы. Считается, что на рассматриваемой линии возможна произвольная, а не только константная как в работе [3], неисправность. В отличие от работы [3] мы допускаем неисправность нескольких линий одновременно. В результате покрытия фрагментов исходной схемы C из вентилях схема превращается в частично программируемую схему C_p , реализующую то же поведение, что и схема C . Заметим, что LUT со свободным входом программируется таким образом, что переменная, сопоставляемая свободному входу, является несущественной для запрограммированной функции.

Пусть m – число входов LUT, тогда функция C_{LUT} этого блока существенно зависит от $(m-1)$ переменных. При обнаружении неисправности линии предполагается выполнить перепрограммирование связанного с ней программируемого блока, имеющего свободный вход. Пусть вход u_i блока связан с линией l , а u_m – свободный вход. Функция f_{LUT} извлекается из подсхемы покрываемой рассматриваемым LUT. При программировании LUT в отсутствие неисправности на линии l каждый единичный набор этой функции в пространстве $(m-1)$ переменных заменяется двумя наборами в пространстве m переменных. В одном из них переменная u_m принимает значение 1, а в другом значение 0. При перепрограммировании LUT в случае обнаружения неисправности на линии реализуется функция:

$$f_{LUT}(u_i = 1) \wedge u_m \vee f_{LUT}(u_i = 0) \wedge \bar{u}_m.$$

Эта функция существенно зависит от $(m-1)$ переменных: $u_1, \dots, u_{i-1}, u_{i+1}, \dots, u_m$. Новая функция получена из прежней перестановкой переменных: переменная u_i заменяется переменной u_m , в результате чего u_m становится существенной переменной. Каждый единичный набор новой функции в пространстве $(m-1)$ переменных заменяется двумя наборами в пространстве m переменных. В одном из них переменная u_i принимает значение 1, а в другом значение 0. Переменная u_i становится несущественной, неисправность линии l маскируется.

Литература

1. Matrosova A., Ostanin S., Kirienko I. Increasing manufacturing yield using partially programmable circuits with clb implementation of incompletely specified boolean function of the corresponding sub-circuit // Proc. of IEEE 18th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems. Belgrade, Serbia, 2015. P. 267–270.
2. Matrosova A., Ostanin S., Andreeva V. Patching circuit design based on reserved CLBs // Proc. of 20th IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. Cluj-Napoca, Romania, 2016. P. 49–54.
3. Yamashita S., Yoshida H., Fujita M. Increasing yield using partially-programmable circuits // Proc. of Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies (SASIMI). 2010. P. 237–242.
4. Jo S., Matsumoto T., Fujita M. SAT-based automatic rectification and debugging of combinational circuits with LUT insertions // Proc. Of IEEE Asian Test Symposium. 2012. P. 19–24.

ОБНАРУЖЕНИЕ И МАСКИРОВАНИЕ ВРЕДНОСНЫХ ПОДСХЕМ, АКТИВИРУЕМЫХ ВНЕ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СХЕМЫ*

Е.В. Митрофанов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
qvaz@ya.ru

Частое использование услуг сторонних компаний для производства спроектированных интегральных схем с целью экономии денежных средств приводит к увеличению риска встраивания вредоносных подсхем, которые могут лишить схему работоспособности или привести к краже конфиденциальной информации. Активация вредоносной подсхемы (Trojan Circuit, TC), как правило, происходит на малом подмножестве всех возможных входов, поэтому её присутствие практически невозможно обнаружить на стадиях верификации и тестирования интегральной схемы. TC состоит из двух частей. Триггерная подсхема (Trojan trigger) активируется, когда на входы TC поступает заранее определенная комбинация сигналов. В свою очередь, Trojan payload включается триггерной подсхемой и каким-либо образом изменяет работу схемы (получает доступ к защищенным данным, выводит из строя схему).

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

Предлагаемый в данной работе метод обнаружения вредоносных подсхем (ТС) заключается в поиске возможных мест их включения, основанный на использовании точных оценок управляемости и наблюдаемости элементов комбинационной части схемы. Оценки управляемости вычисляются для нерабочей области функционирования последовательностной схемы. Алгоритмы получения оценок основаны на использовании структурного описания комбинационной части и функциональном представлении схемы с памятью в виде графа переходов состояний (State Transition Graph или STG). Вычисления выполняются в виде операций над Reduced Ordered Binary Decision Diagrams (ROBDDs). В методе также используется алгоритм определения существования установочной последовательности в заданное множество внутренних состояний, который, в свою очередь, также производит вычисления над ROBDD (BDD). Помимо метода обнаружения ТС, предлагается способ маскирования ТС. Проведенные экспериментальные оценки показали применимость рассматриваемых подходов и невысокую вводимую избыточность, необходимую для маскирования ТС.

Принцип вычисления точных оценок управляемости и наблюдаемости полюсов элементов схемы и их использование для обнаружения возможных мест включения вредоносных подсхем описаны в работе [1]. В данном случае рассматривается вариант вычисления управляемости вне рабочей области функционирования схемы. Такой подход оправдан, так как активация ТС может происходить вне рабочей области, а классические методы тестирования сконцентрированы на поиске дефектов в рабочей области, следственно такие методы никогда не обнаружат факт включения ТС в схему. Для вычисления управляемости вне рабочей области, помимо получения BDD графа управляемости [1], необходимо также построить BDD граф рабочей области функционирования схемы, который несложно получить из STG описания поведения схемы. Построив два графа, BDD искомых оценок получается путем перемножения BDD графа управляемости из [1] и инверсии BDD графа рабочей области. Оценки наблюдаемости всегда строятся на основе структурного описания комбинационной части схемы [1] и не используют STG представление.

Множество полюсов V , в которых возможно включение ТС, представляет собой все полюсы, управляемость которых больше 0, но меньше заданного порога. Полученное множество можно сократить, исключив полюсы с высокой наблюдаемостью (выше определенного порогового значения), а также полюсы, в которых активация ТС требует слишком длинной установочной последовательности. В работе [2] описаны алгоритмы обнаружения факта существования установочной последовательности и построения такой последовательности. Эти алгоритмы полезны как для сокращения множества V , так и для активации вредоносных подсхем (ТС) на этапе их обнаружения.

Для устранения вредоносного воздействия ТС предлагается добавление маскирующей подсхемы вне площади основной схемы и дальнейшая коммутация с необходимыми полюсами с помощью мультиплексора. Таким образом, маскирующая схема не требует внесения больших изменений в первоначальную схему, но добавляет некоторую избыточность. Экспериментальные результаты, полученные на наборе бенчмарков MCNC, говорят об избыточности в районе от 0.8% до 5%.

Литература

1. *Матросова А.Ю., Кириенко И.Е., Томков В.В., Мирютюв А.А.* Обеспечение надежности физических систем: выявление мест возможного включения вредоносных подсхем (trojan circuits) в последовательностных схемах // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 8. С. 140–147.
2. *Matrosova A., Andreeva V., Melnikov A.* ROBDDs Application for Finding the Shortest Transfer Sequence of Sequential Circuit or Only Revealing Existence of this Sequence without Deriving the Sequence itself // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016). Kharkov : IEEE Computer Society, 2016. P. 513–516.

СИНТЕЗ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ АВТОМАТНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЗАДЕРЖЕК ПУТЕЙ*

С.А. Останин, В.А. Лавров, Д.А. Третьяков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
sergeiostanin@yandex.ru, neverlva@gmail.com, agronya@gmail.com

Использование современных высокоскоростных электронных схем в высокотехнологичных производствах требует высокой надежности этих схем. Внешние факторы, такие как радиация, высокая температура и др., часто приводят к появлению так называемых «мягких» неисправностей (soft faults) кратковременных или перемежающихся. Такие неисправности не вызывают необратимых изменений аппаратуры, и их проявление длится ограниченное время, как правило, не больше одного такта. В высокоскоростных схемах накопление даже небольших задержек элементов вдоль пути от входа схемы к выходу может привести к некорректному сигналу на выходе. Такие неисправности называются неисправностями задержек путей. В данной работе предлага-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

ется метод синтеза отказоустойчивых автоматных сетей для неисправностей задержек путей, основанный на использовании самопроверяемой автоматной сети и сети реализующей основную функциональность без дополнительных свойств.

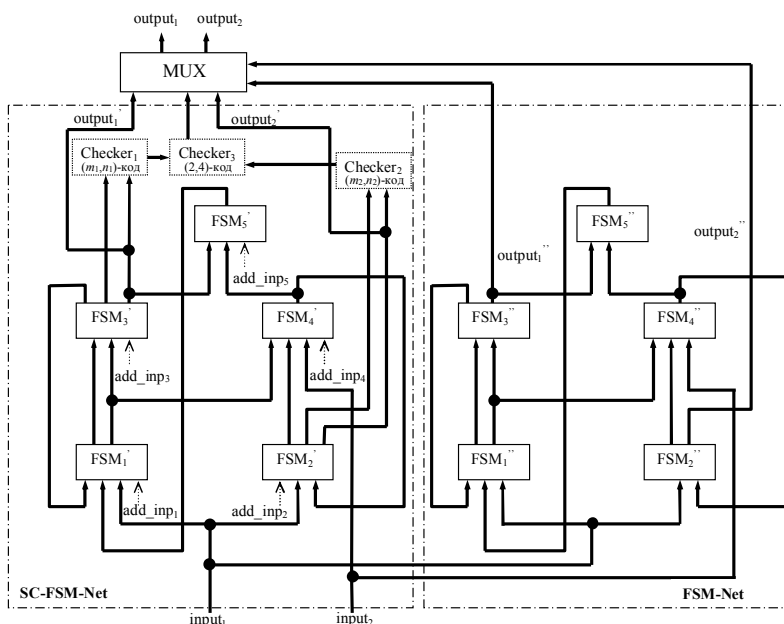


Рис. 1. Отказоустойчивая архитектура автоматной сети

Будем рассматривать синхронные автоматные сети, в которых каждая компонента реализуется синхронной последовательностной схемой с общим синхросигналом. Между различными компонентами сети допускаются обратные связи, т.е. выходы некоторых компонент, находящихся ближе к выходам сети, являются входами компонент, находящихся ближе к входам. Предлагается архитектура отказоустойчивой синхронной автоматной сети на Рис. 1, основанная на архитектуре [1]. В рамках этой архитектуры можно выделить три базовых блока: **FSM-Net**, **SC-FSM-Net** и **MUX**. Допускается неисправность только одного блока в данный момент времени. Воздействие неисправности ограничено одним тактом работы сети. **FSM-Net** – автоматная сеть, реализующая базовую функциональность, каждая компонента данного блока может быть реализована произвольным образом. Выходы $output_1$ и $output_2$ подаются на вход мультиплексора (**MUX**). Допустимыми неисправностями являются произвольные неисправности, изменяющие выходные сигналы блока **FSM-Net**. **SC-FSM-Net** – самопроверяемая автоматная сеть, построения в соответствии с методом [2]. В данной схеме наблюдаются выходы только таких компонент сети, выходы которых являются выходами сети в целом. Назовем их выходными автоматными компонентами. Наблюдение ведется с помощью детекторов неупорядоченных кодов, например, детекторами равновесных кодов (**Checker₁**, **Checker₂**). Выходы всех детекторов поступают на вход детектора ($l, 2l$)-кода (**Checker₃**), который передает сигнал исправности (неисправности) сети на вход мультиплексора.

Каждая компонента сети **SC-FSM-Net** реализуется самопроверяемой последовательностной схемой, самопроверяемость обеспечивается для неисправностей на полюсах элементов схемы, триггерах и входах схемы, приводящих к монотонному изменению значений сигналов на выходах. Внутренние состояния автомата кодируются равновесным кодом, входные состояния также кодируются равновесным кодом (либо, если входные состояния уже закодированы, добавляются дополнительные переменные, за счет которых обеспечивается неупорядоченность входных векторов), выходные состояния кодируются специальным образом, только для тех компонент, выходы которых являются выходами сети, используется равновесный код или код Бергера. Далее проводится минимизация структурного описания автомата (полученного после кодирования), путем замены во входных векторах символа «0» на «-». В качестве метода структурного синтеза используется один из методов, обеспечивающих монотонное проявление константных неисправностей на выходах схемы. В блоке **SC-FSM-Net** допускается неисправность в одной компоненте. В автоматных компонентах (**FSM_i**) рассматриваются одиночные неисправности задержки пути ведущего от произвольного входа комбинационной составляющей до одного из ее выходов, появление которых ограничено одним тактом. Такая неисправность проявляет себя, как одиночная константная неисправность на выходе комбинационной составляющей автомата. Проявление такой неисправности может исчезнуть, не изменив корректного поведения сети, либо приведет к монотонному изменению выходов автоматной компоненты, что в дальнейшем приведет к монотонному изменению выходов одной или нескольких выходных автоматных компонент, что и будет обнаружено детекторами кодов. Также допускаются произвольные неисправности детекторов кодов, так как они не влияют на корректное функционирование сети.

Блок **MUX** – мультиплексор, реализует переключение выходов автоматной сети ($output_1, output_2$) между выходами блока **FSM-Net** ($output_1, output_2$) и выходами блока **SC-FSM-Net** ($output_1, output_2$), в зависимости от значений, поступающих от детектора кода (на рис. 1 – **Checker**). В мультиплексоре допускаются неисправности, приводящие к некорректному переключению между выходами блоков **FSM-Net** и **SC-FSM-Net**. Так как данные блоки работают корректно и не важно, откуда поступает сигнал на выход сети.

Литература

1. *Ostanin S., Matrosova A., Butorina N., Lavrov V.* A fault-tolerant sequential circuit design for soft errors based on fault-secure circuit // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016). Yerevan, Armenia, 2016. P. 607–610.
2. *Matrosova A.Y., Levin I., Ostanin S.A.* Self-checking Synchronous FSM Network Design with Low Overhead // VLSI Design. 2000. Vol. 11, № 1. P. 47–58.

НАХОЖДЕНИЕ ДОСТАТОЧНЫХ МНОЖЕСТВ ЧАСТИЧНОЙ ФУНКЦИИ

Н.Г. Парватов, О.И. Голубева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
parvatov@mail.tsu.ru, golubeva-o@yandex.ru

Пусть E, D – конечные множества. Будем рассматривать функции $f: E^n \rightarrow D$ при всевозможных значениях $n = 0, 1, 2, \dots$. Множество всех таких функций обозначим $P(E, D)$. Предположим, множество D содержит элемент $*$, который интерпретируется как неопределённое значение. В этом случае функции в множестве $P(E, D)$ называются частичными.

Пусть f – частичная функция, зависящая от n переменных. Множество $J \subseteq \{1, \dots, n\}$, состоящее из чисел j_1, \dots, j_m , назовём достаточным для реализации функции f в классе K , если в этом классе найдётся функция g , зависящая от m переменных, такая, что при любых значениях переменных x_1, \dots, x_n из E выполняется условие $f(x_1, \dots, x_n) = g(x_{j_1}, \dots, x_{j_m})$ или $f(x_1, \dots, x_n) = *$.

Обозначим через $B(f, K)$ систему множеств, достаточных для реализации функции f в классе K .

Рассмотрим задачу нахождения системы $B(f, K)$ достаточных множеств для заданного класса K частичных функций и произвольной частичной функции f , зависящей от n переменных. Будем интересоваться битовой сложностью алгоритма для решения данной задачи, в предположении, что функция f на входе алгоритма задаётся вектором значений и система подмножеств на выходе задаётся вектором значений её характеристической функции. В [1] предложен метод, позволивший в ряде случаев получить нетривиальные по сложности алгоритмы для указанной задачи.

В докладе предлагается новый метод решения указанной задачи, применимый для класса K , заданного посредством отношений. В том числе на основании предложенного метода получаются следующие результаты для частичных булевых функций.

Теорема 1. Пусть K – класс всех частичных булевых функций. Система $B(f, K)$ для произвольной частичной булевой функции f , зависящей от n переменных, вычисляется алгоритмом битовой сложности $O(n^2 2^n)$.

Теорема 2. Пусть m – целое положительное число и K – класс всех частичных булевых функций, сохраняющих отношение $x_1 + \dots + x_m = 0$. Система $B(f, K)$ для произвольной частичной булевой функции f , зависящей от n переменных, вычисляется алгоритмом битовой сложности $O(n^2 2^n)$.

Литература

1. *Парватов Н.Г.* Порождение достаточных множеств аргументов частичной булевой функции // Вестник ТГУ. Приложение. 2007. № 23. С. 44–48.

К ПРОБЛЕМЕ НЕОДНОЗНАЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ РАЗБИЕНИЯ ДЕЛОНЕ

С.В. Плотников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
serge.plotnikov@gmail.com

В сообщении рассматривается следующая распространенная постановка задачи восстановления информации. Известны значения $f_i = f(a^i)$, $i = 1, \dots, m$, функции $f: R^n \rightarrow R$ в точках множества $A = \{a^1, \dots, a^m\}$. Требуется для произвольного x из аффинной оболочки множества A определить как оценку значения $f(x)$, так и

формирующие эту оценку существенные точки из A . В данной работе аппроксимации ограничиваются классом кусочно-линейных функций. В качестве аппарата получения таких аппроксимаций применяется методология разбиений Делоне в R^n , основанная на технологиях линейного программирования [1-3] с необходимыми авторскими изменениями. Необходимость коррекций вызвана, во-первых, тем, что выполнения требования того, что каждые $n+2$ точки a^1, \dots, a^{n+2} из A не лежат на общей сфере [1] или что выпуклая оболочка множества A телесна [2, 3], не следует ожидать в практических задачах. Во-вторых, в задачах распознавания нередко требуется оценить информацию и за пределами выпуклой оболочки $\text{conv} A$. На этом пути исправляются неточности в основном результате работы [2] и предлагается распространение методологии на аффинную оболочку множества A с помощью метода точных штрафных функций Еремина-Зангвилла [4]. С этими изменениями ознакомлен второй автор статьи [2].

Однако даже в присутствии тесных предположений решение задачи линейного программирования может достигаться на нескольких различных базисных решениях, определяющих значение аппроксимируемой функции, а потому может повлечь неоднозначность вычислений. В любом случае, значение функции, определяемое с помощью такого подхода, будет находиться в промежутке $[\underline{f}, \bar{f}]$. Тем самым, могут быть получены нижняя и верхняя кусочно-линейная Делоне-аппроксимация значений исходной функции. В частности, верхняя аппроксимация \bar{f} на аффинной оболочке множества A получается решением следующей двухэтапной задачи:

$\bar{f}(x) = \max_{\beta} \sum_{i=1}^m \beta_i f_i$, где вектор $\hat{\beta}$ является базисным решением следующей задачи, которая легко преобразуется в задачу линейного программирования:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^m \beta_i \|a^i\|^2 + \sum_{i=1}^m \mu_i (-\beta_i)^+ : \sum_{i=1}^m \beta_i a^i = x, \sum_{i=1}^m \beta_i = 1 \right\}$$

Для значений штрафов $\mu_i \geq \|a^i\|^2$ эта задача разрешима, а в случае принадлежности вектора x выпуклой оболочке множества A при $\mu_i > \|a^i\|^2 - \hat{u}^T a^i - \hat{v}$ задача выше эквивалентна базовой задаче [5] с $\beta_i \geq 0$ ($i = 1, \dots, m$). Здесь \hat{u} и \hat{v} – компоненты произвольного решения задачи, двойственной к базовой.

Помимо этого, в сообщении обсуждается проблема нахождения решения из минимальной грани оптимального множества задачи, двойственной к базовой, компонента \hat{u} которого определяет центр сферы Делоне при нахождении оценки $f(x)$.

Литература

1. *Rajan V.T.* Optimality of the Delaunay Triangulation in R^d // Proceedings of the 7th Annual Symposium on Computational Geometry. North Conway, New Hampshire, United States, June 10-12. 1991. P. 357–363.
2. *Benchekroun B., Falk James E.* A nonconvex piecewise linear optimization problem // Computers Math. Applic. Yerepmyan L., Falk James E. Delaunay partitions in R^n applied to nonconvex programs and vertex/facet enumeration problems // Computers&Operations Research. 2005. Vol. 32. P. 793–812.
3. *Еремин И.И.* Теория линейной оптимизации. Екатеринбург : УрО РАН, 1999. 313 с.
4. *Плотников С.В.* О вычислительной схеме восстановления образа объекта с применением разбиений Делоне // Материалы 11 международной конференции ICAM'2016. Екатеринбург, 6–10 июня 2016. С. 83–84.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ СИСТЕМЫ ЧАСТИЧНЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Ю.В. Поттосин

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
pott@newman.bas-net.by

Задача декомпозиции системы булевых функций состоит в том, чтобы представить заданную систему функций в виде суперпозиции более простых функций. Фактически реализация булевой функции схемой из логических элементов, или синтез комбинационной схемы, сводится к задаче декомпозиции, когда получаемая суперпозиция должна содержать функции, реализуемые отдельными логическими элементами.

Рассматривается следующая задача. Задана система частичных (не полностью определенных) булевых функций в виде векторной функции $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$, где компонентами вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ являются булевы переменные, составляющие множество X . Требуется найти суперпозицию $f(x) \leq \varphi(g_1(z_1), g_2(z_2), \dots, g_k(z_k))$, где компонентами вектора z_i ($i = 1, 2, \dots, k$) являются переменные из множества $Z_i \subset X$, а символ \leq обозначает отношение реализации, т. е. значения компонент векторной функции φ совпадают со значениями компонент функции f везде, где эти значения определены. При этом мощность $|Z_i|$ ($i = 1, 2, \dots, k$) должна быть ограничена некоторой заданной величиной p , а число k должно быть минимальным и меньшим

чем n . Подобная задача решалась, в основном, при заданных совокупностях множеств Z_1, Z_2, \dots, Z_k [1–3]. Здесь развивается подход к решению данной задачи [4], не требующий конкретного задания этих множеств.

Используемый подход предполагает интервальное задание системы частичных булевых функций [3] – в виде пары троичных матриц X, F размерности $l \times n$ и $l \times m$ соответственно. Столбцы матрицы X соответствуют переменным x_1, x_2, \dots, x_n , а столбцы матрицы F – функциям $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. Строки матриц X и F имеют единую нумерацию.

Рассмотрим графы $G_X = (V, E_X)$ и $G_F = (V, E_F)$, где V – множество общих номеров строк матриц X и F , а E_X и E_F – множества пар номеров ортогональных строк матриц X и F соответственно. Система функций задана корректно, если $E_F \subseteq E_X$, т. е. G_F является остовным подграфом графа G_X . Каждому ребру из множества E_X приписаны переменные из множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, по которым соответствующие строки ортогональны. Полному двудольному подграфу, или *биклике*, графа G_X припишем множество переменных из X , взятых по одной из каждого ребра, принадлежащего данной биклике. Биклику назовем *допустимой*, если число приписанных ей переменных не превышает p и она содержит хотя бы одно ребро из множества E_F .

Пусть B_1, B_2, \dots, B_k – покрытие бикликами множества ребер E_X . Каждая биклика B_i может быть задана парой множеств вершин $\langle V_i', V_i'' \rangle$. Каждая функция $g_i(z_i)$ искомой суперпозиции задается матрицами X_i и F_i . Матрица X_i является минором матрицы X , образованным столбцами, соответствующими переменным, приписанным биклике B_i . Матрица F_i состоит из одного столбца, где в строке, с номером, соответствующим вершине из V_i' , находится 0, в строке с номером, соответствующим вершине из V_i'' , находится 1 (или наоборот), а в строке, которой не соответствует ни одна вершина ни из V_i' , ни из V_i'' , находится символ « \rightarrow ». Векторная функция Φ задается матрицами U и Φ . Матрица U состоит из столбцов, представляющих матрицы F_1, F_2, \dots, F_k , а матрица Φ совпадает с матрицей F .

В статье [5] описан метод решения данной задачи, гарантирующий минимальное значение k . Этот метод сводится к тому, что сначала в графе G_X находятся все максимальные допустимые биклики, а потом получается кратчайшее покрытие ими ребер графа G_F . На основе этого метода разработан эвристический метод решения рассматриваемой задачи, позволяющий за более короткое время получать результат, близкий к минимальному.

Литература

1. Библо П.Н., Енин С.И. Синтез комбинационных схем методом функциональной декомпозиции. Минск : Наука и техника, 1987. 189 с.
2. Поттосин Ю.В., Шестаков Е.А. Табличные методы декомпозиции систем полностью определенных булевых функций. Минск : Белорусская наука, 2006. 327 с.
3. Закревский А.Д., Поттосин Ю.В., Черемисинова Л.Д. Логические основы проектирования дискретных устройств. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 592 с.
4. Поттосин Ю.В., Шестаков Е.А. Декомпозиция системы частичных булевых функций с помощью покрытия графа полными двудольными подграфами // Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур. Доклады второй всероссийской конференции. Екатеринбург : УрО РАН, 1998. С. 185–189.
5. Поттосин Ю.В. Метод многоблочной параллельной декомпозиции системы частичных булевых функций // Информатика. 2017. № 3 (55). С. 92–98.

О ПРИМЕНЕНИИ ЗАДАЧИ О КРАТЧАЙШЕМ ПОКРЫТИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

С.А. Поттосина

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
pott@newman.bas-net.by

Комбинаторная задача о кратчайшем покрытии может успешно применяться при тестировании программного обеспечения. В докладе предложены две задачи, решение которых сводится к нахождению кратчайшего столбцового покрытия некоторой булевой матрицы. Обе задачи решаются с помощью минимаксного алгоритма [1].

Первая задача связана с минимизацией тестового набора при регрессионном тестировании функционала программы. В качестве булевой матрицы выступает матрица R , строки которой соответствуют тестируемому функционалам программы, а столбцы соответствуют тестам, предназначенным для этого. Элемент матрицы r_{ij} равен 1, если для тестирования функционала f_i пригоден тест t_j , иначе элемент r_{ij} матрицы R равен 0.

В качестве примера рассмотрен реальный проект «Сайта-платформы сравнения цен на услуги по страхованию автомобиля». Для этого выделены ключевые элементы системы (тестируемый функционал), безотказная работа которых была критична для данного приложения. К ним относятся: вход на сайт; выход; регистрация; распознанный пользователь; пользователь-студент; пользователь работающий; пользователь безработный; пользователь с дополнительным водителем; анонимный пользователь; пользователь с истёкшим

временем покупки; проверка уведомлений об ошибке; пользователь с дополнительной работой; индивидуальный предприниматель; страница с результатами покупки; рассылка информации на почту. Далее был создан тестовый набор регрессионного тестирования, который содержал проверки заявленной функциональности (11 тестов). В результате поиска кратчайшего покрытия матрицы R оказалось, что первоначальный тестовый набор можно сократить на 14,3% (2 теста) без потери процента покрытия функционала. Аналогично данный метод был апробирован для другого проекта – «Сайта страхования недвижимости». По реализуемой задаче оба приложения похожи и имеют небольшое количество отличительных черт. Поэтому и тестовый набор во многом одинаков. Во втором случае удалось добиться уменьшения первоначального тестового на 21,4%.

Вторая задача относится к поиску минимального диагностического теста, позволяющего проводить классификации дефектов в программном продукте. Это полезно при автоматизации тестирования больших проектов, когда тестируемые разделяются на определенные группы. Рассмотрим множества $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ и $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. Множество D является множеством возможных дефектов, множество B – множеством внешних признаков (симптомов), которые возникают вследствие обнаружения дефекта. Симптом – свойство дефекта, позволяющее классифицировать дефекты по их типичному проявлению. Строится булева диагностическая матрица C , которая показывает, какими признаками характеризуется тот или иной дефект. Затем строится матрица различий R , строки которой соответствуют парам строк диагностической матрицы и показывают, какими компонентами отличаются строки в этих парах, при этом будем использовать покомпонентную операцию сложения по модулю два, выполняя ее над всеми парами строк диагностической матрицы.

Пусть $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ – множество симптомов. Дефект D_1 характеризуется признаками 1,8 и отрицает остальные. Дефект D_2 характеризуется признаками 2, 6, 7, 8 и отрицает остальные. Тогда первой строке матрицы различий будет соответствовать вектор $D_1 D_2 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)$.

Для полученной матрицы различий находится кратчайшее столбцовое покрытие. Множество признаков, соответствующее столбцам из найденного покрытия, будет одним из решений задачи поиска минимального безусловного диагностического теста. При этом каждый дефект однозначно определен соответствующей строкой полученной подматрицы. Это позволяет наиболее рациональным образом классифицировать дефекты на момент их возникновения по данным признакам. Данная задача может оказаться полезной при организации автоматизации тестирования больших проектов, когда необходимо в разделении специалистов по тестированию на определенные группы, появляется задача о классификации дефектов.

Литература

1. Закревский А.Д., Поттосин Ю.В., Черемисинова Л.Д. Логические основы проектирования дискретных устройств. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 592 с.

О ПОВЫШЕНИИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ВРЕДОНОСНЫХ ПОДСХЕМ*

В.А. Провкин, А.Ю. Матросова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
prowkan@mail.ru, mau11@yandex.ru

При синтезе современных интегральных схем разработчики всё чаще прибегают к услугам сторонних фирм для реализации тех или иных компонент системы с целью снижения её стоимости. В компонентах, изготовленных сторонними фирмами, могут быть спрятаны вредоносные подсхемы (Trojan circuits) с целью разрушения системы или извлечения из неё конфиденциальной информации [1]. Вредоносные подсхемы обычно действуют в ситуациях, которые возникают в работающей системе чрезвычайно редко, поэтому они трудно обнаружимы как в процессе верификации схемы, так и в процессе её тестирования. Вредоносные подсхемы необходимо обнаруживать и, по возможности, нейтрализовать их действие.

Дана комбинационная схема C , состоящая из вентилях. В ней рассматриваются линии с низкой наблюдаемостью, исходящие из точек ветвления. Из каждой точки ветвления может выходить только одна такая линия. Предполагается, что линии с низкой наблюдаемостью («подозрительные» линии) могут быть использованы для включения в них Trojan circuits (TCs). Такие линии предлагается закрывать программируемыми блоками памяти look up tables (LUTs), число входов которых на единицу больше максимального числа входов вентилях в исходной схеме [2], чтобы исключить возможность включения в них TCs.

Для этого выполняются следующие шаги: вместо элемента, в который ведёт «подозрительная» линия связи, ставится программируемый блок, сама линия связи удаляется, а к программируемому блоку подводятся

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

линии, которые получаются дублированием линий связи, идущих в элемент, из которого исходит «подозрительная» линия. Опишем способ программирования LUT. Пусть элемент, в который ведёт «подозрительная» линия, реализует функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, а элемент, из которого исходит «подозрительная» линия, реализует функцию $g(y_1, y_2, \dots, y_l)$. Пусть «подозрительная» линия соединена с входом x_i элемента, реализующего функцию f , тогда в LUT программируется следующая функция: $f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, g(y_1, y_2, \dots, y_l), x_{i+1}, \dots, x_n)$. Новая функция зависит от $(l + n - 1)$ переменных. Если m – максимальное число входов вентилях в схеме, то для обеспечения покрытия элемента программируемым блоком должно выполняться следующее условие:

$$l + n - 1 \leq m + 1.$$

Рассмотрим пример, иллюстрирующий работу алгоритма (рис. 1).

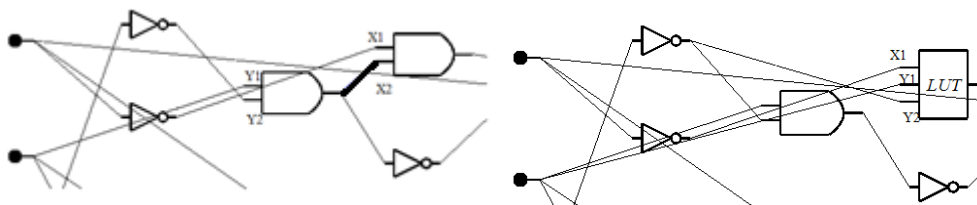


Рис 1. Покрытие LUT'ом двухвходового элемента

Здесь «подозрительная» линия исходит из элемента И. элемент, к которому ведёт эта линия, заменяется программируемым блоком, к нему подводятся все линии (кроме исключаемой), который вели в замещаемый элемент, а также линии, которые вели в элемент И (здесь новые линии получают путём дублирования). В блоке памяти для рассматриваемого примера программируется функция:

$$f = f(x_1, x_2) = x_1 \wedge x_2 = x_1 \wedge g(y_1, y_2) = x_1 \wedge (y_1 \wedge y_2).$$

Литература

1. Матросова А.Ю., Останин С.А., Николаева Е.А. Синтез частично программируемых схем, ориентированный на маскирование вредоносных подсхем (Trojan Circuits) // Труды Института системного программирования РАН. 2017. Т. 29, № 5. С. 61–74.
2. Jo S., Matsumoto T., Fujita M. SAT-based automatic rectification and debugging of combinational circuits with LUT insertions // Proc. Of IEEE Asian Test Symposium. 2012. P. 19–24.

К ПОСТРОЕНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ РАСШИРЕННЫХ АВТОМАТОВ*

Е.В. Дарусенкова, С.А. Прокopenко, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
 darusenкова@gmail.com, s.prokopenko@sibmail.com, nataliamailbox@mail.ru

В работе рассматривается задача описания взаимодействия компонент веб-сервисов, которые, помимо общения друг с другом, также взаимодействуют и с внешней средой (рисунок 1). Адекватной математической моделью для описания веб-сервисов является расширенный автомат [1], и взаимодействие компонент также хотелось бы описать расширенным автоматом. В случаях, когда области значений входных/выходных параметров и контекстных переменных конечны, мы можем полностью промоделировать поведение расширенного автомата и перейти к хорошо изученной модели конечного автомата [2]. Однако, если данные области значений слишком велики или бесконечны, то построить конечный автомат не представляется возможным. В этом случае можно промоделировать поведение расширенного автомата на входных последовательностях длины не больше заданного числа l (так называемый l -эквивалент, который также является конечным автоматом) [3].

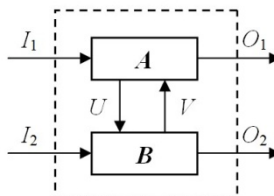


Рис. 1. Параллельная композиция расширенных автоматов

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

Методы построения композиции конечных автоматов известны [4, 5], однако вопрос, каким образом вернуться от композиции конечных автоматов к расширенному автомату, описывающему поведение композиции, остается открытым. Кроме того, непросто установить обратную связь между переходами в конечном автомате (в частности, l -эквиваленте) и соответствующими им переходами в расширенном автомате. Поэтому хотелось бы обсудить возможность описания взаимодействия компонент без перехода к эквивалентным конечным автоматам.

В работе [6] композиция в алфавитах I_1, U, O_2 , являющаяся частным случаем композиции на рис. 1, описана расширенным автоматом и сформулированы ограничения, при которых такое описание возможно. Аналогичным образом хотелось бы построить расширенный автомат для композиции в алфавитах I_1, O_1, U, V и обозначить условия существования такой композиции. В отличие от предыдущего вида композиции, где компоненты следуют одна за другой, и отсутствует внутренний диалог между компонентами, во втором типе композиции возможен внутренний диалог между компонентами, и они взаимодействуют в режиме так называемой «медленной внешней среды» [4]. Данный режим подразумевает, что следующий внешний входной символ может быть подан на композицию только после того, как она выдала внешний выходной символ на предыдущий входной символ.

Прежде всего, для построения параллельной композиции расширенных автоматов мы ограничиваемся случаем, когда предикаты переходов компоненты A не зависят от выходных параметров компоненты B , предикаты переходов компоненты B не зависят от входных параметров компоненты A и выходные параметры компоненты A разделены на внешние (для алфавита O_1) и внутренние (для алфавита U). В дальнейшем планируется ослабить ограничения на класс расширенных автоматов, допускающих композицию без перехода к эквивалентным конечным автоматам.

Литература

1. *Petrenko A., Boroday S., Groz R.* Confirming configurations in EFSM testing // IEEE Trans. Software Eng. 2004. № 30(1). P. 29–42.
2. *Гилл А.* Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука, 1966. 272 с.
3. *Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомоян Е.С., Халчев В.Ф.* Основы технической диагностики. М.: Энергия, 1976. 464 с.
4. *Евтушенко Н.В., Рекун М.В., Тихомирова С.В.* Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 2: Решение автоматных уравнений: учеб. пособие. Томск: Томский государственный университет, 2009. 111 с.
5. *Villa T., Yevtushenko N., Mishenko A., Brayton R. K., Petrenko A., Sangiovanni-Vincentelli A.* The unknown component problem: theory and applications. Berlin: Springer, 2012. 311 p.
6. *Prokopenko S.* Locating a faulty component of an EFSM composition // The Proceedings of ISP RAS. 2014. Vol. 26, is. 6. P. 47–55.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ ШАБЛОНОВ НА ОСНОВЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ СИСТЕМЫ КОМАНД

А.С. Проценко, А.Д. Татарников

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия
protsenko@ispras.ru, andrewt@ispras.ru

Современный микропроцессор является устройством с высокой сложностью, что в итоге приводит к наличию большого количества ошибок на этапе его разработки. Поэтому немалое количество ресурсов выделяется для верификации создаваемого продукта. В процессе верификации микропроцессора использование спецификации модели микропроцессора, описанной на формальном языке, позволяет сократить трудоемкость и повысить качество верификации. Используя описанные таким образом спецификации микропроцессора, можно получить метадаанные модели микропроцессора, такие как набор инструкций, их сигнатуру и диапазон значений входных данных. На основе таких данных становится возможно автоматически сгенерировать тестовые шаблоны, описывающие сценарий верификации микропроцессора и отвечающие особым, нужным верификатору, требованиям.

Рассмотрим публикации по описанной нами тематике. В работе [2] рассмотрен инструмент AVS (Architecture Validation Suite), который реализует проверку покрытия путей исполнения команд. TVM (Test Virtual Machines) [3] для архитектуры RISC-V отделяет общие элементы тестов от блоков для команд или версий спецификаций. В статье [4] представлен подход, где в качестве тестов используют загрузку операционной системы (ОС) и встроенные в нее проверки. На сайте компании ARM [5] описан инструмент RIS (Random Instruction Sequence), он осуществляет проверку работы механизмов управления памятью и многоядерности.

Предлагаемый в нашей работе подход реализован в инструменте MicroTESK[6], рис. 1.

В работе для генерации тестовых шаблонов используются несколько параметров, и каждый из шаблонов направлен на решение определенной задачи: а) тестовый шаблон для проверки соответствия версии специфика-

кации (ревизии); б) тестовый шаблон для проверки корректности выполнения цепочек инструкций набора команд; в) тестовый шаблон для проверки граничных значений инструкций.

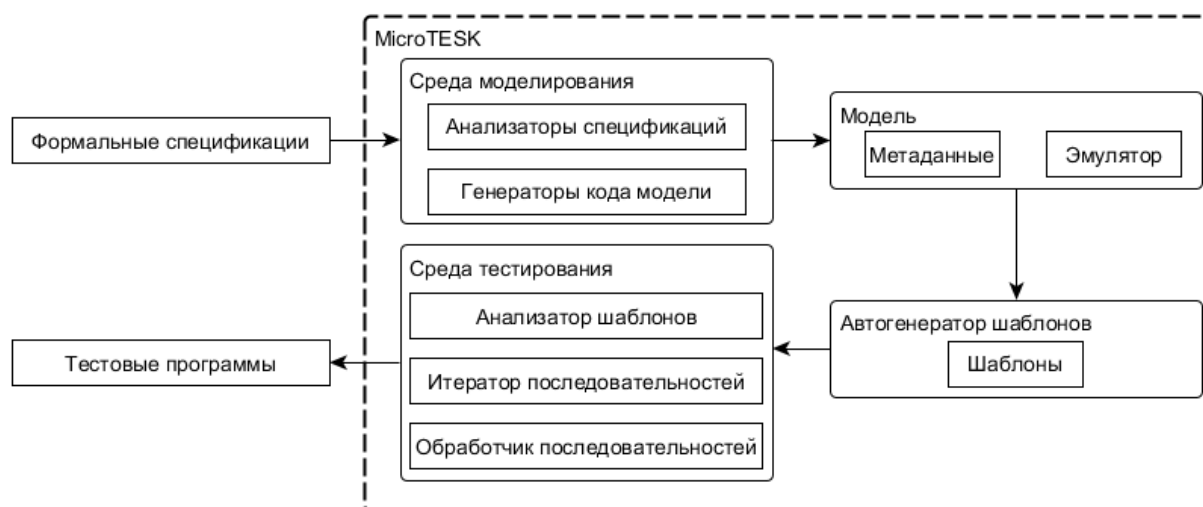


Рис. 1. Схема работы автогенерации тестовых шаблонов в инструменте MicroTESK

Автоматизация построения тестовых шаблонов для микропроцессора сильно ускорит процесс его верификации, а разнообразие автоматически сгенерированных шаблонов, позволит значительно расширить проверяемые области, в которых могут возникнуть ошибки.

Литература

1. Laurent Fournier, Anatoly Kozyfman, Moshe Levinger Developing an Architecture Validation Suite Application to the PowerPC Architecture. DAC 99, New Orleans, Louisiana, 1999 ACM 1-58113-109-7/99/06
2. Сайт разработчиков RISC-V. URL: <https://riscv.org/software-tools/riscv-tests/>
3. Чибисов П.А. Тестирование микропроцессоров и их RTL-моделей приложениями пользователя под ОС Linux // Международный журнал «Программные продукты и системы». 2012. № 3.
4. Сайт компании ARM. URL: <http://www.arm.com>.
5. Сайт инструмента MicroTESK. URL: <http://www.micratesk.org/>

ФОРМАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ОПИСАНИЙ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ

С.А. Смоллов, А.С. Камкин, М.С. Лебедев

Институт системного программирования РАН им. В.П. Иванникова, Москва, Россия
 smolov@ispras.ru, kamkin@ispras.ru, lebedev@ispras.ru

Обеспечение функциональной корректности (верификация) является критически важным этапом процесса проектирования цифровой микроэлектронной аппаратуры. Рост сложности систем на кристалле (System-on-Chip, SoC) обуславливает необходимость разработки методов и инструментальных средств автоматизированной верификации.

Традиционный процесс проектирования цифровой аппаратуры включает в себя следующие стадии: 1) проектирование на уровне регистровых передач; 2) логический синтез; 3) физический синтез (размещение и трассировка). Результатом первого этапа является представление аппаратуры в виде модели уровня регистровых передач (Register Transfer Level, RTL); для этого используются языки описания аппаратуры (Hardware Description Language, HDL). На втором этапе по RTL-модели синтезируется логическая схема (netlist), включающая логические вентили и соединения между ними. Результатом третьего этапа является описание топологии интегральной схемы на специализированном языке типа GDSII (Graphic Database System). Переходы между этапами в целом автоматизированы средствами современных САПР.

Распространенным подходом к верификации аппаратуры является проверка эквивалентности [1]. Суть подхода состоит в автоматизированном доказательстве эквивалентности моделей, полученных на разных стадиях проектирования. Так, при построении логической схемы проверяется ее эквивалентность исходной RTL-модели; для этого используются такие инструменты, как ABC [2]. Корректность RTL-модели

обеспечивается иными средствами, например, с помощью *имитационного тестирования (simulation-based verification)* или *проверки моделей (model checking)*.

В последнее время, ввиду сложности современной аппаратуры, проектирование начинают не с уровня регистровых передач, а с более абстрактного *уровня транзакций (Transaction-Level Model, TLM)* [3]. RTL-модель строится по результатам анализа TLM-модели, но не автоматически, а вручную. Актуальной проблемой является проверка эквивалентности RTL- и TLM-моделей. Основная трудность состоит в том, что разница в таких моделях проявляется не только на структурном уровне, но и на поведенческом (в частности временном), что требует привлечения новых типов отношений эквивалентности (соответствия).

TLM-модель является *асинхронной*; работа с ней осуществляется посредством посылки и приема *сообщений (транзакций)*. RTL-модель является *синхронной* и работает на уровне *сигналов* (стимулы и реакции описываются условиями активации процессов их обработки и последовательностями установки сигналов). Идея предлагаемого подхода состоит в приведении обеих моделей к общему представлению — *унифицированной модели (УМ)*. УМ — это синхронная модель, в которой подача стимулов и прием реакций осуществляется за один такт. Приведение RTL- и TLM-моделей к УМ осуществляется с помощью *обертки (wrapper)*. Обертка — это адаптер, преобразующий стимулы из формата УМ к формату инкапсулируемой модели, а реакции из формата модели в формат УМ.

Проверка эквивалентности моделей проводится путем композиции соответствующих УМ: на вход обеим УМ подаются одинаковые стимулы; выдаваемые реакции передаются *сопоставителю (matcher)* [4]. Сопоставитель содержит две очереди реакций; при получении реакции от одной модели он сравнивает ее с реакциями из очереди другой модели; при обнаружении совпадения обе реакции удаляются; иначе полученная реакция добавляется в очередь. Построенная композиция транслируется во входной формат инструмента проверки моделей (например, nuXmv [5]) и проверяется методом *ограниченной проверки моделей (Bounded Model Checking)* [6]. Проверяемое свойство — отсутствие переполнений очередей.

Данный подход предполагается реализовать в прототипе инструмента Retrascope [7] и провести апробацию на RTL-моделях промышленных микропроцессоров и их подсистем.

Литература

1. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения // Конкурс обзорно-аналитических статей по направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». – 2008. – 111 с.
2. Brayton R., Mishchenko A. ABC: An Academic Industrial-Strength Verification Tool // Proceedings of the Computer Aided Verification: 22nd International Conference, CAV. – 2010. – P. 24 - 40.
3. Cai L., Gajski D. Transaction level modeling: An overview // Proceedings of the International Conference on HW/SW Codesign and System Synthesis (CODES-ISSS). – P. 19–24.
4. Chupilko M., Kamkin A. Runtime Verification Based on Executable Models: On-the-Fly Matching of Timed Traces // Model-Based Testing Workshop (MBT). – 2013. – P. 67-81.
5. Инструмент nuXmv. URL: <https://es-static.fbk.eu/tools/nuxmv> (дата обращения: 10.04.2018).
6. Biere A., Cimatti A., Clarke E.M., Strichman O., Zhu Y. Bounded Model Checking. – Advances in computers, vol. 58: Academic Press, 2003.
7. Инструмент Retrascope. URL: <http://forge.ispras.ru/projects/retrascope> (дата обращения: 10.04.2018).

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ЛЕВОГО/ПРАВОГО ЧАСТНОГО ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ*

А.П. Сотников, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
sotnikhtc@gmail.com, nataliamailbox@mail.ru

Задача обнаружения веб-атак по-прежнему остается актуальной, и в ряде работ для обнаружения атак и очистки пользовательских данных используются формальные модели, например полуавтомат [1, 2]. В данной статье описывается способ обнаружения и локализации SQL-инъекций и XSS-атак с помощью модели полуавтомата и операций левого и правого частного [3].

Часто атаки проводят через поля данных, заполняемые пользователями (например, логин и пароль). Для предотвращения вредоносных действий необходимо проверить входные данные на наличие атак.

Согласно работам [1, 2], первым шагом необходимо пересечь полуавтомат, который описывает РНР программу, с полуавтоматом, описывающим сигнатуры ожидаемых атак. Далее, если пересечение не пусто, то возможна атака и необходимо выделить потенциально вредоносные данные пользователя для последующей очистки. В работах [1, 2] такое выделение производится при помощи операций PreConcatSuffix и

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

PreConcatPrefix, при этом производится разбивка программы на составные блоки вида $A.X$ и $X.A$. Здесь A является фиксированной частью программы, которая не содержит пользовательских данных (например, это часть SQL запроса к базе данных), X – данные от пользователя, которые будут конкатенироваться с фиксированной частью запроса. В качестве примера можно привести очень распространённую форму логин-пароль. В ней в качестве фиксированной части программы можно использовать следующий SQL запрос в базу данных – “SELECT username FROM accounts WHERE password =”, в этот запрос вставляются пользовательские данные (собственно, пароль) и в результате конкатенации образуется конструкция вида $A.X$.

В данной работе вместо операций PreConcatSuffix и PreConcatPrefix рассматриваются операции правого/левого частного, введенные на регулярных языках и описанные, например, в работе [1]. Важным преимуществом использования данных операций является возможность рассматривать все уязвимые фрагменты PHP-программы одновременно, а не каждый уязвимый фрагмент отдельно. Для этого все фрагменты одной программы, к которым будет применена операция правого частного, можно объединить в один полуавтомат. Фрагменты программы, к которым необходимо применять левое частное, также можно объединить, но в отдельный полуавтомат. Такое объединение возможно за счёт того, что каждая атака в полуавтомате описывается отдельной «ветвью» переходов. При этом после отсечения фиксированной части информация о том, из какого поля данных пришла атака, остаётся потенциально доступной. Это связано с тем, что фиксированная часть «отрезается» от регулярного языка полуавтомата с помощью изменения множества начальных (финальных) состояний. Множества же состояний и переходов полуавтомата остаются неизменными. Сохранение связи между полем данных и связанной с ним возможной атакой позволяет организовать более точную очистку вводимых пользователем данных.

На данный момент программно реализованы операции правого и левого частного, реализации проверены на ряде примеров. При программной реализации использовалось разработанное ранее и использованное в работе [4] представление полуавтомата. При реализации правого частного использовался алгоритм, предложенный Питером Линцем [3]. Алгоритм получения левого частного был разработан самостоятельно на основе формулы, приведенной в [5]. В дальнейшем планируется проведение экспериментов с реальными примерами.

Литература

1. Fang Yu, Muath Alkhalaf, Teyfik Bultan. Generating Vulnerability Signatures for String Manipulating Programs Using Automata-based Forward and Backward Symbolic Analyses // ASE '09 Proceedings of the 2009 IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. P. 605–609.
2. Hung-En Wang, Tzung-Lin Tsai, Chun-Han Lin, Fang Yu, Jie-Hong R. Jiang. String Analysis via Automata Manipulation with Logic Circuit Representation. // Computer Aided Verification: 28th International Conference, CAV 2016, Toronto, ON, Canada, July 17–23, 2016, Proceedings. Part I. P. 241–260.
3. Linz P. An introduction to formal languages and automata / Peter Linz. 5th ed. p. cm. Includes bibliographical references and index.
4. Сотников А.П. Программная реализация преобразования глобального полуавтомата во временной автомат // Труды Четырнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск 17–18 мая 2017 г. / под ред. В.В. Демина. Томск : Изд-во НТЛ, 2017. С. 86–89.
5. Matz O., Miller A., Potthoff A., Thomas W., Valkema E. Report on the Program AMoRE / Bericht Nr. 9507 October 1995.

К ПОСТРОЕНИЮ ПОДАВТОМАТОВ БЕЗ СЛИЯНИЙ ДЛЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ*

А.С. Твардовский¹, Н.В. Евтушенко^{1,2}

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
Институт системного программирования РАН, Москва, Россия
tvardal@mail.ru, nyevtush@gmail.com

Тестирование на основе конечно автоматных моделей [1] является эффективным инструментом проверки корректности программного и аппаратного обеспечения, позволяя строить проверяющие тесты с гарантированной полнотой покрытия неисправностей (ошибок) [2–3]. При тестировании реальных систем часто приходится учитывать, что спецификации могут быть недетерминированными. Соответственно, в общем случае, при описании реальных систем используются недетерминированные конечные автоматы, для которых проверяющие тесты строятся относительно редукции [3] и часто являются слишком длинными для практического применения. В работе [4] для сокращения длины тестов предлагается использовать подавтомат исходного автомата, обладающий адаптивной различающей последовательностью. В общем случае эти последовательности также

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-49-03012.

могут быть достаточно длинными, однако известно [5], что для определённого класса автоматов, а именно автоматов без слияний, эти последовательности имеют полиномиальную длину относительно числа состояний автомата. В настоящей работе мы предлагаем алгоритм проверки существования подавтомата без слияний для исходного автомата-спецификации.

Под *конечным автоматом* [2] понимается четвёрка $S = (S, s_0, I, O, h_S)$, где I – множество *входных символов*, O – множество *выходных символов*, S – конечное непустое множество *состояний*, s_0 – начальное состояние, $h_S \subseteq (S \times I \times O \times S)$ – *отношение переходов*. Соответственно, кортеж (s, i, o, s') описывает *переход* из состояния s в состояние s' под действием входного символа i с выдачей выходного символа o . Если для некоторой пары $(s, i) \in S \times I$ существует более одного перехода в множестве h_S , то конечный автомат называется *недетерминированным*. В настоящей работе мы рассматриваем полностью определённые возможно недетерминированные автоматы, т.е. автоматы, для которых в любом состоянии существует выходная реакция на каждый входной символ. Конечный автомат называется *автоматом без слияний* [5], если для любых двух состояний s_1 и s_2 и любого входного символа i справедливо: если $(s_1, i, o, s_1'), (s_2, i, o, s_2') \in h_S$, то состояния s_1' и s_2' не совпадают.

Для проверки существования в полностью определенном недетерминированном автомате подавтомата без слияний воспользуемся понятием максимальной клики в неориентированном графе. Под *кликой* в неориентированном графе понимается подмножество вершин графа, каждая пара из которых соединена ребром. Для каждого входного символа i исходного автомата построим граф совместимости G_i , вершины которого соответствуют переходам под действием этого входного символа. Переходы $(s_1, i, o_1, s_1'), (s_2, i, o_2, s_2') \in h_S$ назовем *совместимыми*, если $o_1 \neq o_2$ или $s_1' \neq s_2'$.

Утверждение 1. В автомате существует полностью определенный подавтомат без слияний с входным символом i , если и только если существует клика в графе G_i , содержащая переход (s, i, o, s') для каждого состояния s исходного автомата.

Проблемы, возникающие при построении максимальной клики в графе, достаточно хорошо исследованы [6], и существует большое количество программных реализаций для нахождения максимальной клики в заданном графе. Если для некоторого i в графе G_i отсутствует клика, содержащая переход (s, i, o, s') для каждого состояния s исходного автомата, то при построении подавтомата без слияний данный входной символ не рассматривается. Из найденных подавтоматов без слияний выделяются те, в которых каждая пара состояний адаптивно различима, и, соответственно, адаптивная различающая последовательность для всего подавтомата строится по алгоритму из [5]. Далее осуществляется проверка существования адаптивных передаточных последовательностей для каждого состояния подавтомата, и в случае существования таковых, проверяющий тест строится методом, предложенным в [4].

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука, 1966. 272 с.
2. Dorofeeva R., El-Fakih K., Maag S., Cavalli A.R., Yevtushenko N. FSM-based conformance testing methods: a survey annotated with experimental evaluation. Information and Software Technology. 2010. 52. Elsevier P. 1286–1297.
3. Petrenko A., Yevtushenko N. Conformance tests as checking experiments for partial nondeterministic FSM // Grieskamp W., Weise C. (eds.) FATES 2005. LNCS. Vol. 3997. P. 118–133. Springer, Heidelberg (2006). doi:10.1007/11759744_9.
4. Aleksandr Tvardovskii. Refining the Specification FSM When Deriving Test Suites w.r.t. the Reduction Relation // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). 2017. Vol. 10533. P. 333–339.
5. Yevtushenko N., Kushik N. Nondeterministic merging-free finite state machines. Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). 2015. P. 338–341.
6. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982. 416 с.

ПОИСК ПОДСХЕМ В КМОП СХЕМЕ ИЗ ТРАНЗИСТОРОВ

Д.И. Черемисинов, Л.Д. Черемисинова

Объединений институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
cher@newman.bas-net.by, cld@newman.bas-net.by

Сегодня графы широко используются для моделирования данных в различных предметных областях, требующих выяснения и определения правил и схем отношений объектов. Graph Mining – одно из направлений интеллектуального анализа данных, в котором объемные комплексные данные представлены в виде графов, а анализ ведется для того, чтобы получить новые знания. В настоящем докладе рассматривается задача поиска часто встречающихся подграфов в большом графе, являющимся моделью КМОП схемы из транзисторов, и приводится обзор подходов к поиску решений этой задачи.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к разработке алгоритмов интеллектуального анализа данных, работающих на графах. Такие графы возникают естественно в ряде различных областей таких как: обнаружение сетевых атак, семантический web, поведенческое моделирование, перепроектирование СБИС, ана-

лиз социальных сетей и классификация химических соединений. Когда данные сложны и имеют много взаимосвязей, становится важной задача поиска знаний о структуре данных. Алгоритмы поиска часто встречающихся подграфов играют важную роль в дальнейшем расширении использования методов интеллектуального анализа для данных большого объема, моделируемых графами. Задача поиска часто встречающихся подграфов состоит в нахождении в заданном графе всех тех подграфов, которые встречаются в нем с частотой большей, чем заданное значение. Идентификация часто встречающихся графов/подграфов в базе данных или в одном большом графе является методом, который может использоваться для задач классификации, кластеризации графов и построения индексов при поиске подграфов [1].

Электрические схемы состоят из элементов, которые соединены друг с другом цепями, и естественной формальной моделью описания схемы является раскрашенный неориентированный двудольный граф. Одну долю составляют выводы элементов и порты схемы, а другую – соединения между выводами, т.е. цепи. Преобразование иерархической схемы электронного устройства в схему, состоящую исключительно из примитивных элементов, естественно назвать компиляцией. Обратный процесс, в результате которого из плоской схемы строится иерархическая, является декомпиляцией. Для построения иерархического структурного описания нужно выделить в схеме в качестве каждого отдельного компонента набор взаимосвязанных транзисторов т.е. найти подсхемы в исходной схеме. После замены подсхем элементами описание схемы становится двухуровневым.

Современные цифровые КМОП схемы содержат на транзисторном уровне до миллиарда примитивных элементов. КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник) – набор полупроводниковых технологий построения интегральных микросхем и соответствующая схемотехника микросхем. Предполагая, что подсхемы являются часто встречающимися подграфами, можно попытаться построить декомпилятор, используя методы Graph Mining.

Задача поиска часто встречающихся подграфов (frequent subgraph mining – FSM) стала популярной областью исследований в последнее десятилетие, и к настоящему времени библиография этой задаче посвящены сотни публикаций. Литература на русском языке по этой проблеме практически отсутствует. За это время было предложено много алгоритмов поиска часто встречающихся подграфов [2]. Трудоемкость FSM огромна из-за необходимости много раз решать задачу изоморфизма подграфа. Алгоритм наивного поиска часто встречающихся подграфов состоит из двух операций. Первая операция разыскивает все подграфы-кандидаты для данного графа G , а вторая подсчитывает частоту встречаемости каждого подграфа-кандидата. Из-за чрезвычайно большой трудоемкости второй операции известные практические алгоритмы FSM ограничиваются поиском подграфов небольшого размера (меньше 10 вершин) – графлетов [3]. Подсчитать оценку частоты встречаемости для графов с миллионами вершин удается для графлетов еще меньшего размера [4]. Модель простейшей КМОП схемы – инвертора – в виде двудольного графа содержит 12 вершин.

Литература

1. Kuramochi M., Karypis G. Frequent subgraph discovery // International Conference on Data Mining (ICDM'01). San Jose, CA, Nov. 2001. P. 313–320.
2. Prabhakar R., Ramraj T. Frequent Subgraph Mining Algorithms – A survey // Procedia Computer Science, 2015. P. 197–204.
3. Bressan M., Chierichetti F., Kumar R., Leucci S., Panconesi A. Counting Graphlets: Space vs Time // Proc. of the 10th ACM International Conference on Web Search and Data Mining (WSDM 2017). ACM 2017. P. 557–566.
4. Pinar A., Seshadhri C., Vishal V. ESCAPE: Efficiently Counting All 5-Vertex Subgraphs // Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web (WWW '17). International World Wide Web Conferences Steering Committee, Republic and Canton of Geneva, Switzerland, 2017. P. 1431–1440.

ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВ НА ОСНОВЕ ГРАФА ДОСТИЖИМЫХ СОСТОЯНИЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ

Л.Д. Черемисинова

Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
cld@newman.bas-net.by

С увеличением сложности и требований к качеству проектируемых управляющих систем резко возрастает трудоемкость их тестирования, которая растет даже быстрее, чем сложность тестируемых систем. По разным оценкам, в настоящее время на этап тестирования приходится 30–50% от общих затрат на разработку управляющих систем, и сложность выполнения этого этапа имеет тенденцию расти быстрее, чем сложность тестируемых систем. Одной из новых технологий для решения этой проблемы является тестирование схемной реализации системы управления на соответствие модели ее требуемого поведения (conformance relation), задаваемого спецификацией на проектирование. Под тестированием далее понимается проверка схемной реализации на вход-выходное соответствие модели (input-output conformance), которая состоит в 1) генерации проверяющей последовательности на основе заданной спецификации; 2) моделировании схемной реализации на полученной

тестовой последовательности; 3) наблюдении ее реакций и 4) определении, соответствуют ли вход-выходные реакции схемной реализации ее спецификации. Можно выделить следующие два основных способа генерации входных воздействий (для проверяющей последовательности): генерация псевдослучайных наборов воздействий; генерация наборов воздействий и проверяющей последовательности в целом, исходя из описания модели. Минусы первого подхода заключаются в том, что число возможных входных воздействий в каждом состоянии схемы (и модели) экспоненциально зависит от числа переменных, и, главное, не все такие наборы попадают в область определения модели (а значит, и реализации). Второй подход обеспечивает не только наиболее полное тестирование схемы на области, определяемой спецификацией на ее проектирование, но и позволяет сократить длину проверяющей последовательности.

Наиболее разработанным направлением в этой области тестирования является верификация на основе моделей, представленных конечными автоматами. Однако имеется ряд систем, для которых выразительных средств аппарата конечных автоматов оказывается недостаточно. Наиболее важным свойством таких систем управления является присущий им параллелизм происходящих в них процессов. В этом случае целесообразно использовать средства для описания систем с параллелизмом, такие как сети взаимодействующих автоматов и аппарат сетей Петри.

В настоящей работе рассматривается задача верификации системы управления параллельно протекающими процессами. В качестве языка задания спецификации используется язык ПРАЛУ представления параллельных алгоритмов логического управления, а точнее задание описаний в стандартном виде моделью, названной параллельным автоматом. Алгоритмы в таком виде представляют подкласс цветных сетей Петри – расширенные сети свободного выбора. При тестировании управляющих систем с параллелизмом поведения рассматривается задача генерации проверяющей последовательности в виде четверок (S_i^b, X_i, Y_i, S_i^e) , где S_i^b и S_i^e – начальное и конечное множества частичных состояний, X_i – входной стимул, Y_i – изменение значений переменных. Каждая четверка может порождаться одним или несколькими параллельно (но не альтернативно) выполняемыми переходами исходного алгоритма поведения устройства.

Основным инструментом, лежащим в основе методов анализа поведенческих свойств моделей, является граф достижимости, вершинам которого соответствуют все возможные разметки, а дуга, помеченная символами одного или нескольких переходов, соединяет разметки, такие, что сеть переходит от первой разметки ко второй при срабатывании этих переходов. Для того чтобы построить проверяющую последовательность, дуги графа достижимости помечаются не только переходами, но и парой: входное условие срабатывания перехода и значения изменяемых переменных. В таком графе достижимости могут появляться кратные дуги, различающиеся присвоенными им метками. Построение графа достижимости (в явном или неявном виде) всегда возможно для моделей с конечным пространством состояний, однако проблемой является экспоненциальный рост числа разметок графа достижимости, основной причиной которого является наличие параллельно выполняемых процессов алгоритма.

В настоящей работе предлагаются пути сокращения графа достижимости на основе введения отношения частичного порядка на множестве параллельно срабатывающих переходов. Вводятся условия частичного упорядочения пар переходов на основе учета их информационного взаимодействия. Если в процессе построения графа достижимости для очередной достигнутой маркировки возможно срабатывание пары (или более) параллельных переходов, не находящихся в отношении следования, то следующая маркировка строится как результат одновременного срабатывания этих переходов, заменяя множество возможных маркировок и сокращая их число до числа возможных порядков срабатывания переходов.

ПОИСК ЛОЖНЫХ ПУТЕЙ В ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ИЗ ДВУХВХОДОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИЙ НАД ROBDD-ГРАФАМИ*

А.Ю. Матросова, С.А. Останин, С.В. Чернышов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mau11@yandex.ru, sergeiostanin@yandex.ru, semen.cher@mail.ru

Для определения максимально возможной частоты функционирования логической схемы необходимо находить пути с максимальной задержкой (критические пути). Однако среди критических путей могут оказаться ложные пути (false paths). Путь считается ложным, если не существует булева вектора, на котором изменение сигнала на входе приводит к изменению сигнала на выходе этого пути. Определение частоты функционирования схемы без учета ложных путей может привести к снижению быстродействия схемы по сравнению с возможным быстродействием, что не желательно.

Известны эвристические методы нахождения ложных путей как для комбинационных, так и последовательностных схем [1–4]. В работе [5] предложен точный метод поиска ложных путей в

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

последовательностных схемах. Он основан на нахождении всех тестовых наборов v_2 тестовых пар (v_1, v_2) для не робастно тестируемых задержек путей комбинационной составляющей последовательностной схемы и выявлении факта существования последовательности (хотя бы одной) из начального состояния схемы в одно из внутренних состояний, представляемых набором v_2 , причем длина последовательности не превосходит заданного значения. Недостатком предложенного подхода является использование эквивалентной нормальной формы (ЭНФ) при поиске набора v_2 тестовой пары.

В данной работе преодолевается этот недостаток. При поиске наборов v_2 тестовых пар используются операции над reduced ordered binary decision diagrams (над ROBDD-графами), которые характеризуются полиномиальной сложностью. ROBDD-графы строятся для фрагментов комбинационной составляющей последовательностной схемы.

Находятся все наборы для противоположных перепадов значений сигналов рассматриваемой последовательностной схемы. Наборы компактно представляются двумя ROBDD-графами, отдельно для перепадов, называемых в зарубежных источниках rising transitions и falling transitions. При выявлении существования установочных последовательностей операции суммирования выполняются над ROBDD-графами, не зависящими от входных переменных последовательностной схемы, что существенно сокращает вычислительные затраты.

Задержки путей, как известно, делятся на робастно и не робастно тестируемые. Для нахождения ложных путей достаточно рассматривать не робастно тестируемые неисправности задержки путей. Если не существует тестовых пар, обнаруживающих неисправности задержки пути хотя бы для одного из противоположных перепадов значений сигналов, исследуемый путь является ложным как для комбинационной, так и для последовательностной схемы. Для обнаружения ложных путей в комбинационной схеме достаточно ограничиться поиском тестовых наборов v_2 тестовой пары. Для последовательностных схем требуется находить оба набора тестовой пары, которые обязательно отличаются инверсными значениями в компоненте, сопоставляемой переменной, отмечающей начало пути. Путь в комбинационной составляющей является ложным, если не существует тестовой пары хотя бы для одного из противоположных перепадов значений сигналов на этом пути, причем тестовая пара доставляется из начального состояния последовательностью, длина которой не превышает заданного значения.

В данной работе предлагается вычислить булеву разность для рассматриваемого пути. Вычисление сводится к получению ROBDD-графов, представляющих булевы разности для подсхем, выходы которых совпадают с выходами элементов пути, а вход, относительно которых вычисляется булева разность подсхемы, является входом того же самого элемента. Полученные ROBDD-графы перемножаются. ROBDD граф R_{path} представляет всевозможные наборы v_2 для противоположных перепадов сигналов рассматриваемого пути. Затем происходит разделение этих наборов на соответствующие два подмножества, каждое из которых также представляется ROBDD-графом. Далее реализуется алгоритм выявления возможности доставки хотя бы одной тестовой пары порожденной вышеупомянутыми подмножествами. Приводятся результаты экспериментов на контрольных примерах.

Литература

1. Gharaybeh M. A., Agrawal V. D., Bushnell M. L., Parodi C. G. False-Path Removal Using Delay Fault Simulation // Journal of Electronic Testing. 2000. Vol. 16, № 5. P. 463–476.
2. Zeng J., Abadir M., Abraham J. False Timing Path Identification Using ATPG Techniques and Delay-Based Information // Proc. of the 39th Design Automation Conference. New Orleans, LA, USA, 2002. P. 562–565.
3. Marques F.S., Ribas R.P., Sapatnekar S., Reis A.I. A New Approach to the Use of Satisfiability in False Path Detection // Proc. of the 15th ACM Great Lakes Symposium on VLSI. New York, NY, USA, 2005. P. 308–311.
4. Kacou M. A., Ghaffari F., Romain O., Condamine B. Error rate estimation of a design implemented in an FPGA based on the operating conditions // Proc. of the 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Novi Sad, Serbia. 2017. P. 1–7.
5. Matrosova A. Y., Andreeva V. V., Chernyshov S. V., Rozhkova S. V., Kudin D. V. Finding False Paths in Sequential Circuits // Russian Physics Journal. 2018. Vol. 60, № 10. P. 1837–1844.

TOWARDS CHECKING WEB-SERVICES SECURITY: USING AUTOMATA EQUATIONS AND INEQUALITIES*

N. Shabaldina¹, N. Yevtushenko¹, F. Yu²

¹ Tomsk State University, Tomsk, Russia

² National Chengchi University, Taipei, Taiwan

NataliaMailBox@mail.ru, nyevtush@gmail.com, yuf918@gmail.com

A lot of works are devoted to security checking of web-services. In our previous papers, we considered various topics in this area, such as approaches for filter design [1] and sanitization [2]. In [3], we started to analyze how automata equations can be used to describe malicious user inputs. In this work, we join our efforts in order to combine the theory of solving automata equations with practical results on web-service security checking.

Given a PHP program for which we would like to describe malicious user inputs that later should be sanitized, a dependency graph for this program can be constructed. The next step is to derive automata that are associated with nodes in the graph, particularly for the sink node that usually represents a sensitive function in the web application. The intersection S of this automaton with the automaton that represents attack patterns allows drawing a conclusion whether a vulnerability can be exploited. The latter happens when the intersection is not empty [1, 2]. In this case, the sanitization is needed for the given description of malicious user inputs. In this joint work, we discuss some approaches to constructing characteristics of malicious user inputs.

In [1], it is suggested to use functions *PreConcatPrefix* and *PreConcatSuffix* for constructing automata that characterize all potential malicious user inputs through the backward symbolic analysis. Given the set A of some fixed sequences, the function *PreConcatSuffix* allows to find all sequences β such that the concatenation with at least one sequence of the set A is forbidden: $\exists \alpha \in A: \alpha\beta \in S$. Correspondingly, given another set B of sequences, the function *PreConcatPrefix* allows to find all sequences α such that the concatenation with at least one of the sequence in set B is forbidden: $\exists \beta \in B: \alpha\beta \in S$. This approach was implemented in the tool Stranger [4] for vulnerability analysis. However, in fact, this approach can be undoubtedly applied when set A (or B) corresponds to one node in the dependency graph, i.e. contains a single sequence. When set A (or B) has several sequences we get false alarms as we miss the important information, in particular, for which α (β) this β (α) can lead to an attack. As the consequence, a user can be rather unhappy after superfluous sanitization.

In automata notations, the function *PreConcatPrefix* corresponds to the *right quotient* (the algorithm of deriving right quotient is described in [5]); similarly, the function *PreConcatSuffix* corresponds to the *left quotient*. The right quotient is the solution for the inequality $X.B \geq S$, while the left quotient is the solution for the inequality $A.X \geq S$. And both quotients detect dangerous sequences but can also provide false alarms.

For another type of inequalities, i.e., $X.B \leq S$ and $A.X \leq S$, false alarms are not possible. However, in this case, we can miss some forbidden (dangerous) sequences, since the maximal solution to the equation $A.X \cong S$ contains every β that is forbidden for each $\alpha \in A$.

In this work, we suggest to decide the above problem by modifying the algorithm of finding the left/right quotient in such a way that it can be applied for the given set A (or B) that corresponds to more than one node in the dependency graph, i.e., contains more than one sequence. If the automaton that describe S is a tree automaton, then we can store the information of the connection between corresponding sequences α and β , in order to avoid false alarms and thus, organize the sanitization process in a more refined way. Our next step is to try this approach for real life examples.

References

1. Fang Yu, Muath Alkhalaf, Tefvik Bultan. Patching Vulnerabilities with Sanitization Synthesis. Proceedings of the 33th International Conference on Software Engineering (ICSE 2011), Honolulu, U.S., May 2011.
2. Fang Yu, Ching-Yuan Shueh, Chun-Han Lin, Yu-Fang Chen, Bow-Yaw Wang, and Tefvik Bultan. "Optimal Sanitization Synthesis for Web Application Vulnerability Repair." In the Proceedings of ACM SIGSOFT the 2016 International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA'16), Saarbrücken, Germany, July 2016
3. A. Kolomeets, N. Shabaldina, E. Darusenkova, N. Yevtushenko. Using Models of Finite Transition Systems for Checking Web-Service Security Proceedings of the 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. 2017. P. 151–154.
4. <https://vlab.cs.ucsb.edu/stranger/>
5. Peter Linz. An introduction to formal languages and automata. 5th edition. Jones & Bartlett Learning, 2011. 427 p.

* This work is supported by the Russian Science Foundation (RSF), research project № 16-49-03012.

О ТРЕХ ЭВРИСТИКАХ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ПРИ ДООПРЕДЕЛЕНИИ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ*

М.Л. Громов, Н.А. Шаляпина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
nat.shalyapina@gmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com

Алгоритм работы дискретных устройств описывается системами булевых функций. В реальных задачах некоторые комбинации аргументов могут отсутствовать в области определения функции. В таких случаях логика функционирования будет описываться системами частичных булевых функций. При решении некоторого класса задач, например, прогнозирования/предсказания с использованием логических схем, как это предложено в работах [1–2], подобного описания оказывается недостаточно и возникает задача доопределения значений функций на отсутствующих наборах значений аргументов.

Для построения множества интервалов, покрывающих недоопределённую область (множество векторов, на которых функция не определена), использовалось программное обеспечение для синтеза и верификации логических схем – ABC [3]. Особенностью этого инструмента является то, что при формировании множества интервалов, некоторые из них могут пересекаться, что в дальнейшем может привести к неоднозначному результату. Пусть есть два пересекающихся интервала i_1 и i_2 . Если мы назначим всем векторам интервала i_1 оценку (значение функции) a , а всем векторам интервала i_2 отличную от a оценку b , то получится, что общим для i_1 и i_2 векторам мы назначили различные значения функции, что является ошибкой.

В данной работе мы предлагаем три эвристических подхода исключения неоднозначности. Все три подхода опираются на проверку пересечения булевых интервалов, задающих множество векторов, на которых исходная функция не определена.

Идея первого подхода состоит в разбиении интервалов на непересекающиеся части. Пусть есть два пересекающихся интервала i_1 и i_2 . Разобьём один из этих интервалов (для определённости i_1) на такие части, чтобы, во-первых, получившиеся части не пересекались ни между собой, ни с интервалом i_2 , а во-вторых, чтобы объединение этих частей с i_2 давало то же множество векторов, что и объединение интервалов i_1 и i_2 . Сделать это можно, например, следующим образом. Найдём пересечение i_1 и i_2 . В результате получится некоторый интервал. Вычтем его из интервала i_1 . Остаток вновь представим в виде интервалов. Недостатком этого метода является высокая трудоёмкость: мало того, что операция разбиения интервала на части занимает много времени, так она ещё и не гарантирует, что полученные части не будут пересекаться с каким-нибудь ещё интервалом, а это означает, что операцию, скорее всего, придётся повторить.

Во втором подходе мы предлагаем рассматривать интервалы как вершины некоторого неориентированного графа. Две вершины этого графа соединены ребром, если соответствующие два интервала пересекаются. Каждая компонента связности такого графа представляет собой множество пересекающихся интервалов, на которых значение функции будем задавать одинаковым, что позволит избежать неоднозначности. Чтобы избежать накладных расходов по памяти и времени, нами был предложен алгоритм нахождения компонент связности этого графа без явного построения матрицы смежности. Недостаток этого подхода нами был обнаружен в экспериментах: чаще всего указанный граф оказывается связным, то есть все вектора попадают в одну компоненту связности и им назначается одно и то же значение функции, что неудобно.

Третий подход в некотором смысле противоположен второму. Найдём такое подмножество интервалов, что никакая пара интервалов из него не пересекается. Тогда мы можем безболезненно назначить любые значения функции на каждом из этих интервалов, это не приведёт к неоднозначности. Добавим к исходной области определения функции это подмножество интервалов вместе с приписанными нами значениями функции. Область определения функции и недоопределённая область изменятся. Построим неоопределённую область и повторим процедуру. Недостаток этого метода заключается в том, что на каждой итерации приходится заново строить недоопределённую область функции.

Все три подхода были реализованы программно и опробованы на некоторых примерах различного объёма (количество аргументов функции, объём исходной области определения функции). Все три подхода показали приемлемые результаты, однако вопрос, какой же из подходов предпочтительнее, является предметом наших дальнейших исследований.

Литература

1. Шаляпина Н.А., Евтушенко Т.Г. Использование систем булевых функций для оценки эффективности обучения студентов // Известия вузов. Физика. 2015. Т. 58, № 11/2. С. 111–114.
2. Шаляпина Н.А., Евтушенко Т.Г. Оценка качества обучения иностранному языку на основе самообучающихся моделей // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 8/2. С. 112–114.
3. ABC: A System for Sequential Synthesis and Verification. URL: <https://people.eecs.berkeley.edu/~alanmi/abc/> (дата обращения: 11.04.2018).

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-49-03012.

К ПОКОМПОНЕНТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИНХРОННОЙ КОМПОЗИЦИИ АВТОМАТОВ

В.А. Шварцкоп

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
v.shwartskop@gmail.com

Автоматная модель [1, 2] используется для описания систем, которые переходят из состояния в состояние под действием входных воздействий, производя при этом выходные реакции. Описав поведение некоторого объекта автоматом, можно оптимизировать реализации объекта, что в настоящее время становится все более актуальным, особенно для систем с ограниченными вычислительными возможностями. Общим трендом является стремление сделать их меньше, надежнее, и оптимизация компонентов в различных направлениях поможет улучшить управление различными объектами. Примером может служить *Internet of Things (IoT, «интернет вещей»)* [3], в котором активно используются различные системы с ограниченными вычислительными возможностями, нуждающиеся в оптимизации.

Сложные системы обычно имеют иерархическую структуру, т.е. поведение автоматной системы описывается композицией более простых в некотором смысле автоматов-компонентов, и в большинстве приложений автоматы-компоненты являются детерминированными и полностью определенными. Автомат является *полностью определенным*, если в каждом состоянии определен переход по каждому входному символу, иначе автомат называется *частичным*. Автомат называется *детерминированным*, если в каждом состоянии существует не более одного перехода по каждому входному символу. В нашем докладе мы рассматриваем синхронную композицию [4] полностью определенных детерминированных автоматов и обсуждаем возможности оптимизации компонентов композиции. В синхронной композиции, которая обычно используется для описания поведения сложных аппаратных систем, при подаче внешнего входного символа все компоненты одновременно меняют свои состояния, производя соответствующие выходные сигналы. При покомпонентной оптимизации синхронной композиции мы рассматриваем два подхода к оптимизации автоматов-компонентов. В первом случае компоненты оптимизируются как «самостоятельные» конечные автоматы независимо от других компонентов, т.е. в этом случае находится приведенная форма автомата-компонента. Однако проведенные нами компьютерные эксперименты со сравнением FPGA реализаций исходного неприведенного автомата и его приведенной формы показывают, что FPGA реализация приведенной формы не всегда оказывается оптимальной по сравнению с FPGA реализацией исходного автомата-компонента.

С другой стороны, известно [4], что поведение автоматной сети может остаться прежним, даже если автомат-компонент заменяется на неэквивалентный ему автомат. Поэтому компоненты можно оптимизировать в зависимости от поведения других компонентов; для такой оптимизации обычно привлекается явное или неявное решение автоматных уравнений. Для автомата-компонента мы рассматриваем множество так называемых безразличных входных последовательностей, т.е. входных последовательностей, которые не могут поступить на данный компонент в рассматриваемой автоматной сети, и соответственно рассматриваем FPGA реализацию частичного автомата. Оценка сложности таких реализаций по сравнению с реализациями полностью определенных детерминированных автоматов требует дальнейших исследований.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М. : Наука, 1966. 272 с.
2. Евтушенко Н.В., Петренко А.Ф., Ветрова М.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 1: Отношения и операции : учеб. пособие. Томск : Томский государственный университет, 2006. 142 с.
3. Xia F., Yang L.T., Wang L., Vinel A. Internet of Things // International Journal of Communication Systems. 2012. Vol. 25, № 9. P. 1101–1102.
4. Евтушенко Н.В., Рекун М.В., Тихомирова С.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 2: Решение автоматных уравнений : учеб. пособие. Томск : Томский государственный университет, 2009. 111 с.

О ДЛИНАХ ПУТЕЙ САМОТЕСТИРУЕМЫХ ДЕТЕКТОРОВ, ПОСТРОЕННЫХ В БАЗЕ ПЛБ*

Н.Б. Буторина, Е.Г. Пахомова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
nnatta07@mail.ru

В связи с увеличением сложности и значимости дискретных (цифровых) систем возрастает потребность в их высокой надежности. При обеспечении самопроверяемости дискретных устройств требуется разрабатывать

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

самотестируемые детекторы кодов. Предполагается, что программируемые логические блоки (ПЛБ) реализованы в рамках look up table (LUT)-технологий. Они могут быть запрограммированы на реализацию любых интересующих нас булевых функций заданного числа переменных. Методы синтеза самотестируемых детекторов равновесных кодов с использованием программируемых логических блоков (ПЛБ) представлены в работах [1, 2].

Для представления всевозможных (m, n) – кодов в [1] предложена специальная формула $D_n^m(X) = \sum_{i=0}^m D_g^i(X^1) D_{n-g}^{m-i}(X^2)$, включающая скобки, символы \wedge, \vee и ДНФ $D_p^q(X^r)$ – дизъюнкцию конъюнкций, соответствующих всем (q, p) – кодовым словам, $p \leq n, q \leq p, X^r \subset X, X = \{x_1, \dots, x_n\}$. Здесь символ \wedge между $D_g^i(X^1) D_{n-g}^{m-i}(X^2)$ опущен. Структура этой формулы может быть представлена соответствующим деревом. Синтез детектора основан на покрытии этого дерева программируемыми блоками, реализующими функции специального вида. Различия в методах связаны с разбиением подмножества переменных кодовых слов при многократном использовании формулы разложения. В первом способе $g = k$, где k – число входов в ПЛБ. Если $n - k > k$, то выполним следующий шаг разложения для каждой $D_{n-k}^{m-i}(X^2)$, и так далее. Во втором способе g – наименьшее целое, большее или равное числу $n / 2$. Если $g > k$ и/или $n - g > k$, то формула разложения снова используется для каждой функции разложения $D_g^i, D_{n-g}^{m-i}, i = \overline{0, m}$ и т.д.

В работе [2] разбиение на подмножества переменных в произведениях ориентировано на сокращение максимальной длины путей в схеме, являющейся реализацией полученной в результате формулы, и минимизацию разброса длин путей.

Проведены оценки детекторов, построенными методами [1, 2], по двум параметрам: количеству ПЛБ и максимальной длине путей. Для удобства детектор, построенный методом [1], будем называть *детектор1*, а детектор, синтезированный методом, предлагаемым в [2] – *детектор2*. Результаты приведены в таблице.

Сравнение сложности детекторов и максимальных длин их путей

m	n	k	Максимальная длина пути		Количество ПЛБ	
			Детектор 2	Детектор 1	Детектор 2	Детектор 1
6	12	4	5	5	31	31
8	16	4	5	7	60	55
3	16	4	4	6	32	32
10	20	4	7	9	82	85
3	20	4	6	8	43	43
3	64	4	8	30	164	164
10	64	4	11	31	471	448
20	64	4	12	31	728	703
32	64	4	12	31	840	811

Из таблицы видим, что при $n > 3k$ максимальная длина пути детекторов, синтезированных методом, предлагаемым в [2], оказывается меньше, чем максимальная длина пути детекторов, синтезированных методом, предлагаемым в [1]. Количество ПЛБ, используемых при синтезе детектора рассматриваемыми методами, существенно не отличаются.

Литература

1. Матросова А.Ю., Никитин К.В. Синтез самотестируемого детектора (m,n) -кодов на программируемых логических блоках // Вестник Томского государственного университета. Приложение. 2003. № 6. С. 124–136.
2. Буторина Н.Б., Цидендоржиева С.Р. Построение самотестируемого детектора равновесных кодовых слов // 7 российская конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур». Томск : ТГУ, 2008. С. 44–44.

ОБНАРУЖЕНИЕ РОБАСТНО ТЕСТИРУЕМЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЗАДЕРЖЕК ПУТЕЙ*

А.Ю. Матросова, В.В. Андреева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mau11@yandex.ru, avv.21@mail.ru

В схемах высокого уровня интеграции недостаточно тестировать одиночные константные неисправности на полюсах логических элементов схем, необходимо также тестировать неисправности задержек их путей (path

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00218).

delay faults (PDF)). Такие неисправности обнаруживаются парами тестовых наборов (v_1, v_2). Среди неисправно-неисправностей задержек путей выделяют робастно и не робастно тестируемые неисправности. Неисправность задержки пути (PDF) является робастно тестируемой, если существует пара тестовых наборов, на которой она обнаруживается независимо от наличия или отсутствия задержек других путей схемы. Неисправность задержки пути является не робастно тестируемой, если она может быть обнаружена на подходящей тестовой паре только в отсутствие задержек других путей. Обнаружение робастно тестируемых неисправностей позволяет однозначно определить путь в схеме, на котором эта неисправность проявляется. Выделение неисправных путей может быть использовано для коррекции схемы с целью устранения выявленных задержек. Устранение задержек дает возможность повысить быстродействие схемы. В работе [1] на основе анализа эквивалентной нормальной формы (ЭНФ) сформулированы требования к паре (v_1, v_2) тестовых наборов для робастно тестируемых неисправностей задержек путей, позволяющие строить эти наборы. Однако ЭНФ – громоздкая формула даже для простых логических схем. В работе [2] предлагаются методы построения наборов v_2 тестовых пар на основе анализа И, ИЛИ-деревьев, представляющих более компактно ЭНФ, и использования Structural Synthesized Binary Decision Diagrams (SSBDD-графов). Тем не менее, для реальных схем эти деревья и графы по-прежнему остаются громоздкими, а использование композиций этих деревьев и графов существенно усложняет алгоритмы поиска тестовых пар.

В данной работе предлагается новый подход к поиску тестовых пар (v_1, v_2) для робастно тестируемых неисправностей задержек путей (в дальнейшем будем называть их робастно тестируемыми PDF). Он основан на использовании операций над ROBDD (Reduced Ordered Binary Decision Diagram) – графами. Операции над такими графами характеризуются полиномиальной сложностью. Они выполняются над ROBDD-графами, построенными для фрагментов комбинационных схем (фрагментов комбинационных составляющих последовательностных схем). Сначала находится функция, задающая булеву разность для рассматриваемого пути, компактно представляемая ROBDD-графом $R(D_{path})$. $R(D_{path})$ получается перемножением ROBDD-графов, задающих наблюдаемости для подсхем, порожденных рассматриваемым путем. В этом графе содержатся тестовые наборы v_2 для обоих (противоположных) перепадов значений сигналов пути. Противоположные перепады в англоязычной литературе называют rising transition и falling transition. Предлагается отделить наборы противоположных перепадов друг от друга и компактно представить их соответствующими ROBDD-графами R_{rise} и R_{fall} , соответственно.

Перемножив графы R_{rise}, R_{fall} , получаем компактное представление всех тестовых пар для робастно тестируемых неисправностей задержек данного пути (двух неисправностей, по одной для каждого из противоположных перепадов значений сигналов) в виде ROBDD R_{rob} . Путь от корня до его 1-концевой вершины представляет множество тестовых пар. Речь идет о соседних векторах в каждой тестовой паре, причем последовательность векторов v_1, v_2, v_1 дает возможность тестировать оба перепада значений сигналов один за другим. Путь от корня до его 1-концевой вершины представляет множество тестовых пар. Векторы пары являются соседними по переменной, отмечающей начало пути в схеме.

В работе [1] показано, что если путь робастно тестируемый, то для него существует тестовая пара, образованная из соседних наборов.

Не всегда оба из перепадов значений сигналов пути робастно тестируемые. Тестовые наборы для робастно тестируемой неисправности задержки пути, обнаружимой только для rising transition этого пути, представляются графом $R_{rise\ rob}$, получаемым перемножением инверсии ROBDD R_{rob} и ROBDD R_{rise} . Тестовые наборы для робастно тестируемой неисправности задержки пути, обнаружимой только для falling transition этого пути, представляются графом $R_{fall\ rob}$, получаемым перемножением инверсии ROBDD R_{rob} и ROBDD R_{fall} .

Литература

1. Матросова А.Ю., Липский В.Б. Свойства пар тестовых наборов, обнаруживающих неисправности задержек путей в логических схемах VLSI высокой производительности // Автоматика и телемеханика. 2015. № 4. С. 135–148.
2. Матросова А.Ю., Останин С.А., Сингх В. Обнаружение несущественных путей логических схем на основе совместного анализа и/или деревьев и SSBDD-графов // Автоматика и телемеханика. 2013. № 9. С. 126–142.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗЛИЧНЫХ СТРАТЕГИЙ ЗАМЕЩЕНИЯ СТРАНИЦ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ

В.М. Винарский, О.Д. Костюкова, А.А. Романов

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ, Москва, Россия
vmvinarskiy@edu.hse.ru

С каждым годом растёт вычислительная мощность электронных устройств, сложность задач, возлагаемых на них, увеличивается, а их количество уже давно перевалило за десятки миллиардов. В настоящее время почти у каждого в кармане есть устройство способное хранить и обрабатывать информацию, зачастую это смартфоны и различная носимая электроника. В их памяти храниться различная информация, необходимая

как для базового функционирования устройства (системные файлы), так и для выполнения различных функций, запрашиваемых пользователем (просмотр фото, видео, проигрывание звука и т.д.).

От того, насколько быстро можно извлечь или записать в память необходимые данные, напрямую зависит производительность устройства. Однако её объём и скорость ограничены либо конструктивными особенностями, либо стоимостью устройства из-за чего было решено использовать в одном устройстве несколько уровней памяти с разными характеристиками [1]. Уровни, имеющие больший объём вмещаемой информации, как правило имеют большие задержки при обращении и/или меньшую пропускную способность. Следствием данного технического решения стала необходимость в алгоритмах, способных автоматически распределять хранящиеся данные по разным уровням памяти, чтобы задержки при обращении к ним были минимальны. Данная проблема была известна ещё на заре компьютерной эры и на сегодняшний день она не утратила своей актуальности.

За последние десятилетия было придумано много решений, но все они имеют свои недостатки и особенности. Обычно, мы не должны задумываться об этом, ведь операционная система предоставляет нам лишь набор, так называемых, виртуальных адресов, количество которых превышает объём быстрой памяти, а после уже сама распределяет их по уровням памяти в зависимости от алгоритма [2]. Но саму операционную систему, или любую другую программу, которой необходимо напрямую работать с памятью, нужно ещё создать. Как следствие, перед разработчиками программного обеспечения низкого уровня встаёт вопрос о выборе подходящего алгоритма вытеснения неиспользуемой информации из быстрой памяти в медленную. Очевидным, но не всегда самым эффективным алгоритмом было бы удалять из быстрой памяти всё, что давно не использовалось. Такой алгоритм существует и называется LRU (Least Recently Used). Он удобен из-за простоты своей реализации и относительно низкого количества промахов при обращении.

Существует множество других алгоритмов, которым посвящена данная работа [3]. В работе проанализированы наиболее популярные и эффективные решения возникшей проблемы, а также выделены наиболее предпочтительные алгоритмы для различных областей применения.

Литература

1. UCSD ECE 30 Chapter 5 Memory Hierarchy. URL: <http://eceweb.ucsd.edu/~gert/ece30/CN5.pdf>
2. Remzi H. Arpaci-Dusseau and Andrea C. Arpaci-Dusseau Operating Systems: Three Easy Pieces. Arpaci-Dusseau Books. March, 2015 Chapter 20.
3. Tim Bower, Page Replacement Algorithms. URL: http://faculty.salina.k-state.edu/tim/oss/sg/Memory/virt_mem/page_replace.html

ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ КОДЫ В СИСТЕМАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КОМБИНАЦИОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Д.В. Ефанов, Р.Б. Абдуллаев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия
TrES-4b@yandex.ru

Полиномиальные коды (алгебраические, Cyclic Redundancy Codes [1]) нашли широкое применение на различных уровнях систем управления и в различных технических решениях для защиты передаваемой информации. Их используют в протоколах передачи информации как ModBus, Ethernet, FlexRay, HDLC (авиация), в устройствах обработки и хранения информации с форматами MPEG-2, OpenPGP, PNG, SCSI, в форматах карт памяти типа MMC, SD, в интерфейсах USB, Bluetooth и т.д. [2, 3]. Также полиномиальные коды могут быть использованы при решении задач тестового и функционального диагностирования. Представленное исследование посвящено исследованию особенностей полиномиальных кодов, проявляющихся при организации систем функционального контроля комбинационных логических схем [4].

Основными характеристиками систем функционального контроля комбинационных логических схем являются контролепригодность, обнаруживающая способность и структурная избыточность. Каждая из этих характеристик напрямую определяется особенностями избыточного кода, который положен в основу системы функционального контроля [5]. Следует отметить, что все компоненты системы функционального контроля в рассматриваемом приложении являются комбинационными схемами, однако, как известно [6], для получения полиномиальных кодов наибольшее распространение получили схемы кодирования в виде сдвиговых регистров. Тем не менее, анализ показал, что контрольные разряды полиномиальных кодов описываются с помощью простых линейных уравнений алгебры логики, что позволяет их применять при построении систем функционального контроля. В ходе исследования ставились задачи оценки обнаруживающих способностей полиномиальных кодов, а также оценки влияния выбора образующего полинома на структурную избыточность систем функционального контроля.

Был проведен анализ свойств полиномиальных кодов в системах функционального контроля на примере полиномиальных кодов с двумя контрольными разрядами (далее даны некоторые результаты именно для данных кодов). При этом исследования проводились как в общем по определению характеристик обнаружения

ошибок различных видов (монотонные, симметричные или асимметричные [7]) и кратностям, так и в частности на контрольных комбинационных схемах из набора LGSynth`89 [8].

Результаты анализа обнаруживающей способности позволили заключить следующее. Наилучшими характеристиками обнаружения ошибок как в общем, так и двукратных ошибок обладают полиномиальные коды с образующим полиномом $x^2 + x + 1$, однако ими не обнаруживаются некоторые трехкратные ошибки. У всех полиномиальных кодов в классе необнаруживаемых присутствует существенная доля монотонных ошибок (в том числе, в области малой кратности ошибок). Эти обстоятельства следует учитывать при синтезе дискретных систем с обнаружением неисправностей. Например, использование алгоритмов преобразования структур логических схем в структуры, допускающие только монотонные проявления неисправностей, не представляется возможным [9]. Требуется учет другого свойства. Однако можно учитывать высокую обнаруживающую способность в области малой кратности ошибок.

При оценке структурной избыточности использовался известный интерпретатор SIS и библиотека функциональных элементов stdcell2_2.genlib. Это позволило сначала получить абсолютную характеристику избыточности в виде площади (в усл. ед.), а затем – и структурную избыточность по отношению к системе дублирования. Анализ полученных результатов показал, что использование полиномиальных кодов дает более простые с точки зрения сложности реализации структуры систем функционального контроля. Средние значения полученных коэффициентов отношений площадей систем функционального контроля на основе полиномиальных кодов и систем дублирования не превышают 70%, а для некоторых контрольных схем достигнуто уменьшение значения площади системы функционального контроля вдвое по сравнению с дублированием, что сравнимо с аналогичным показателем применения известного кода паритета.

Полиномиальные коды могут эффективно применяться при синтезе систем функционального контроля комбинационных логических схем.

Литература

1. Brown D.T., Peterson W.W. Cyclic Codes for Error Detection // Proceedings of the IRE. 1961. Vol. 49, is. 1. P. 228–235.
2. Castagnoli G., Brauer S., Herrmann M. Optimization of Cyclic Redundancy-Check Codes with 24 and 32 Parity Bits // IEEE Transactions on Communications. 1993. Vol. 41, is. 6. P. 883–892. DOI: 10.1109/26.231911.
3. Koopman P., Chakravarty T. Cyclic Redundancy Code (CRC) Polynomial Selection for Embedded Networks // the International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN-2004, 28 June – 1 July 2004, Florence, Italy, P. 145–154. DOI: 10.1109/DSN.2004.1311885.
4. Bayat-Sarmadi S., Hasan M.A. On Concurrent Detection of Errors in Polynomial Basis Multiplication // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. 2007. Vol. 15. P. 413–426. doi: 10.1109/TVLSI.2007.893659.
5. Nicolaidis M., Zorian Y. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches // Journal of Electronic testing: Theory and Applications. 1998. № 12. P. 7–20.
6. Sellers F.F., Hsiao M.-Y., Beamson L.W. Error Detecting Logic for Digital Computers. New York : McGraw-Hill, 1968.
7. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов // Известия вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 5. С. 333–343. – DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-5-333-343.
8. Collection of Digital Design Benchmarks. URL: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks/>.
9. Morosow A., Saposhnikov V.V., Saposhnikov Vl.V., Goessel M. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs // VLSI Design. 1998. Vol. 5, is. 4. P. 333–345. DOI: 10.1155/1998/20389.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «IS-A»-ОТНОШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А.М. Бабанов, Е.С. Квач

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
babanov2000@mail.ru, kvachelena@gmail.com

В любой сфере человеческой деятельности не обойтись без использования «IS-A»-отношений (отношений «ЕСТЬ-НЕКОТОРЫЙ»), которые позволяют переходить от частных явлений к их абстракциям различных уровней и наоборот, – «студент есть некоторый человек», «бакалавр есть некоторый студент». С целью анализа представлений «IS-A»-отношений в информационных системах авторы рассматривают прецеденты использования обобщённых и специализированных понятий в искусственном интеллекте, семантических моделях данных и программировании.

В искусственном интеллекте «IS-A»-отношения используются в семантических сетях и являются основным звеном в сети. Связь «IS-A» устанавливает иерархию типов в сети и используется для определения наиболее специфического семантического типа [1]. В семантических сетях выделяются «IS-A»-отношения между классами (IS-A type of) и между экземплярами и классами (IS-AN instance of), членами которых они являются [2].

Что касается представления «IS-A»-отношений в семантических моделях данных, то в расширенной модели «Сущность – Связь» (Enhanced/Extended Entity-Relationship Model – EERM) выделяют специализации – нисходящий процесс образования «IS-A»-иерархий с полным наследованием признаков и генерализации –

обратный процесс, при котором эти «IS-A»-иерархии образуются с помощью восходящего процесса. Можно отметить, что специалисты по моделированию данных [3-7] видят преимущественно структурные и ограничительные особенности классов данных. Терри Халпин [7], автор модели «Объект – Роль» (Object-Role Model – OR-модель), кроме этого, замечает, что специализации позволяют делать опциональные роли суперкласса обязательными для подкласса и за счет этого вводить дополнительные ограничения целостности. Дополнительные правила для подтипов вводит ER-модель в нотации Баркера в Oracle Designer: взаимоисключающее правило (каждый экземпляр супертипа одновременно является экземпляром одного и только одного подтипа) и исчерпывающее правило (каждый экземпляр супертипа должен быть экземпляром одного из подтипов) [8]. Однако этим правилам удовлетворяют лишь полные непересекающиеся специализации. Во многих моделях данных помимо этого типа специализаций используются также полные пересекающиеся, частичные непересекающиеся, частичные пересекающиеся.

В объектно-ориентированном программировании (ООП) «IS-A»-отношения можно встретить в унифицированном языке моделирования (Unified Modeling Language – UML). Здесь используется термин обобщение – отношение между классом и одной или несколькими его вариациями. Обобщение объединяет классы по их общим свойствам [9]. В соответствии со спецификой ООП, в UML, помимо атрибутов и отношений, подтипы наследуют ещё и методы супертипа.

На рис. 1 приведены примеры представления «IS-A»-отношений в различных информационных технологиях.

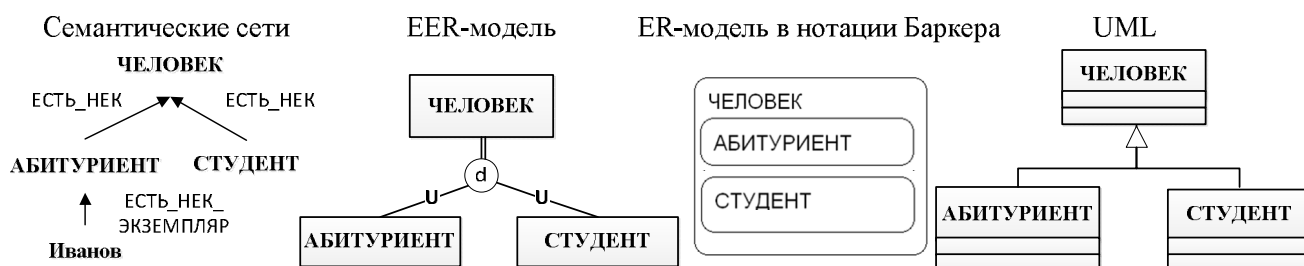


Рис. 1. Представление «IS-A»-отношений в информационных технологиях

Проанализировав особенности «IS-A»-отношений, авторы пришли к необходимости более строгой формализации обобщений и введению для этого нового базового понятия «IS-THE»-отношения в семантической модели «Сущность – Связь – Отображение» (Entity-Relationship-Mapping Model – ERMM) [10].

Литература

1. U.S. National Library of Medicine, The Unified Medical Language System, UMLS Reference Manual. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9676/>
2. Bundy.A. Catalogue of Artificial Intelligence Tools/ A. Bundy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1984. 150 p.
3. Coronel C. Database Systems: Design, Implementation, and Management / C. Coronel, S.Morris, P. Rob. USA : Cengage Learning, 2011. 724 p.
4. Connolly T., Begg C. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. edition 4th. Addison-Wesley, 2010. 1400 p.
5. Elmasi R., Navahe S.B. Fundamentals of Database Systems, edition 6th. Addison-Wesley, 2011. 1201 p.
6. Ferragine V.E., Doorn J.H., Rivero L.C. Handbook of Research on Innovations in Database Technologies and Applications: Current and Future Trends. 2009. 1124 p.
7. Halpin T., Morgan T. Information Modeling and Relational Databases, edition 2. Morgan Kaufman, 2008. 943 p.
8. Barker R. CASE Method: Entity Relationship Modelling. Addison-Wesley, 1990. 240 p.
9. Рамбо Д., Блаха М. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. 2-е изд. СПб. : Питер, 2007. 544 с.
10. Бабанов А.М., Квач Е.С. «IS-THE»-отношения в семантических моделях данных: основные понятия и разновидности // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. Т. 34, № 1. С. 69–78.

МУЛЬТИВЕЙВЛЕТЫ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ МНОГОЧЛЕНАМ*

Б.М. Шумилов

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия
sbm_05@yandex.ru

Вейвлетом называется короткая или быстро затухающая волновая функция (всплеск), множество сжатий и смещений которой порождает пространство измеримых функций на всей числовой оси [1-3]. Основой для построения вейвлетов является наличие набора аппроксимирующих пространств $\dots V_{L-1} \subset V_L \subset V_{L+1} \dots$, таких, что каждая базисная функция в V_{L-1} может быть выражена в виде линейной комбинации базисных функций в V_L . В частности, таким свойством обладают сплайны – гладкие функции, склеенные из кусков многочленов степени m , на вложенной последовательности сеток. Если порядок склейки равен $m-1$, то классические полуортогональные вейвлеты (элементы пространства V_L , ортогональные пространству V_{L-1}) имеют довольно большой носитель $[0, 2m+1]$. В случае аппроксимации на конечном интервале ситуация усугубляется, так как приходится учитывать краевые эффекты. Это препятствует их широкому использованию для решения задач математического моделирования. В отличие от этого, эрмитовы сплайны нечетной степени $m=2r+1$ (соответствующие склейке порядка r) приводят к вейвлетам с носителем $[0, 3]$, что, несомненно, предпочтительнее. Поскольку в базисе таких функций несколько, они называются мультивейвлетами [4-8]. В [9, 10] были предложены методы построения вейвлетов, ортогональных многочленам, с уменьшенными носителями. Идея уменьшения носителя вейвлета за счет замены свойства ортогональности пространству сплайнов на прореженной сетке ортогональностью многочленам представляется привлекательной. Действительно, с точки зрения скорости приближения гладких функций [3] данные типы вейвлетов эквивалентны, а ортогональность многочленам обеспечивает локально максимальную «похожесть» на наилучшее среднеквадратическое приближение.

В докладе излагаются результаты исследования мультивейвлетов нечетной степени с носителем $[0, 2]$, ортогональных многочленам той же степени [11], на конечном отрезке.

Доказано свойство уменьшения носителей по сравнению с классическими мультивейвлетами. Представлен алгоритм построения мультивейвлетов с применением для решения полученной системы линейных алгебраических уравнений метода блочной матричной прогонки [12, 13]. Исследована устойчивость мультивейвлет-преобразования на больших сетках вычислением чисел обусловленности в эвклидовой норме прогоночных матриц. Дан численный пример аппроксимации и сжатия данных для случая эрмитовых сплайн-мультивейвлетов 7-й степени.

Литература

1. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / пер. с англ. Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 332 с.
2. Чуи Ч. Введение в вейвлеты / пер. с англ. М. : Мир, 2001. 412 с.
3. Новиков И.Я., Протасов В.Ю., Скопина М.А. Теория всплесков. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 616 с.
4. Strela V. Multiwavelets: regularity, orthogonality and symmetry via two-scale similarity transform // Stud. Appl. Math. 1997. V. 98, № 4. P. 335–354.
5. Strela V., Heller P.N., Strang G., Topivala P., Heil C. The application of multiwavelet filterbanks to image processing // IEEE Trans. Signal Processing. 1999. V. 8, № 4. P. 548–563.
6. Warming R., Beam R. Discrete multiresolution analysis using Hermite interpolation: Biorthogonal multiwavelets // SIAM J. Sci. Comp. 2000. V. 22, № 1. P. 269–317.
7. Dahmen W., Han B., Jia R.-Q., Kunoth A. Biorthogonal multiwavelets on the interval: cubic Hermite splines // Constr. Approx. 2000. V. 16. P. 221–259.
8. Han B. Approximation properties and construction of Hermite interpolants and biorthogonal multiwavelets // J. Approxim. Theory. 2001. V. 110. P. 18–53.
9. Koro K., Abe K. Non-orthogonal spline wavelets for boundary element analysis // Engineering Analysis with Boundary Elements. 2001. V. 25. P. 149–164.
10. Han B., Kwon S.-G., Park S.S. Riesz multiwavelet bases // Appl. Comput. Harmon. Anal. 2006. V. 20. P. 161–183.
11. Шумилов Б.М. Мультивейвлеты эрмитовых сплайнов третьей степени, ортогональные кубическим многочленам // Математическое моделирование. 2013. № 4. С. 17–28.
12. Шумилов Б.М. Алгоритм матричной прогонки вычисления мультивейвлетов нечетной степени, ортогональных многочленам // Автометрия. 2015. Т. 51, № 2. С. 83–92.
13. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М. : Наука, 1978. 591 с.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Секция 7. СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

О ПРОБЛЕМЕ ДОГЕНЕРАЦИИ ГРАФА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ГРУПП

Е.Р. Мунтян

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
ermuntyan@sfedu.ru

В [1, 2] рассмотрен ряд задач, возникающих при моделировании взаимодействия социальных групп с использованием графовой парадигмы. К ним относятся рассмотренные автором ранее задачи обобщения [3] и разделения графов [4, 5], локализации вершин графа [6] для представления управляемых объектов и проблема догенерации графа. Задача догенерации графа возникает в случае, если имеется в наличии граф, построенный по репрезентативной выборке и требуется доопределить такой граф до размеров сопоставимых с реальным графом с сохранением свойств его репрезентативности. Очевидно, что исходный граф должен обладать всеми свойствами (характеристиками) конечного графа.

Кроме того, граф модели может быть задан стационарно или изменяться во времени. Он может быть конечным или условно бесконечным. Под условно бесконечным графом будем понимать граф, размеры которого невозможно определить в фиксированный момент времени. Таким образом может возникнуть ситуация, когда необходимо спрогнозировать дальнейшее развитие существующего графа в сторону увеличения или уменьшения.

В [1] выполнен обзор существующих методов прогнозирования графа, в том числе рассмотрены метод Дельфи, «дерево целей» и другие методы с возможностью выделения структурных или иерархических уровней в моделируемых системах, для чего применяются ориентированные графы. В нашем случае для моделирования взаимодействий социальных групп используется неориентированный граф G , к тому же в графе могут быть не выражены в явном виде иерархические уровни.

Итак, опишем неориентированный связный граф $G = (G_V, G_E)$, который задан множествами вершин $G_V = \{gv_i \mid i=1, \dots, n\}$ (gv – graphvertex) и ребер $G_E = \{ge_j \mid j=1, \dots, m\}$ (ge – graphedge). В качестве вершин графа могут выступать акторы, а отношения между акторами задаются ребрами графа. Акторы в данном случае – это субъекты (личности) в соответствии с акторно-сетевой теорией Латуры Б. [7]. Отношения между акторами могут отображать связи в социальных сетях. Исследование таких связей полезно, например, для определения возможности распространения той или иной информации между акторами. Особое значение такие исследования приобретают, например, в случае выявления угрозы террористического акта.

В нашем случае по имеющейся информации о связях в социальных сетях n акторов будем считать, что имеется построенный по репрезентативной выборке граф G . Отмечается необходимость пропорционального доопределения заданного графа G до реального графа $G1$, заданного множеством вершин $G1_V = \{gv_i \mid i=1, \dots, (n+v)\}$ и множеством ребер $G1_E = \{<ge_j> \mid j=1, \dots, (m+e)\}$. Одно из возможных решений было предложено автором в [1], где в качестве вершин для догенерации используются периферийные вершины исходного графа и в зависимости от необходимых пропорций выполняется достраивание графа. Эффективность такого алгоритма очевидна, если исходный граф G составляет значительную часть графа $G1$. В противном случае необходим поиск других алгоритмов догенерации графа.

Нужно отметить, что здесь возможны два подхода: за основу графа $G1$ берется исходный граф G и выполняется его последовательное наращивание, как рассмотрено выше, или граф $G1$ строится с нуля с учетом сохранения свойств исходного графа.

В обоих случаях требуется, чтобы оба графа G и $G1$ обладали общими свойствами. Отсюда возникает проблема подбора необходимого и достаточного инварианта графов [8], используемого при моделировании взаимодействия социальных групп. Под инвариантом графа понимается числовая характеристика графа или их упорядоченный вектор. К инвариантным характеристикам графа G [8-10] могут относиться такие величины, как число вершин и ребер в графе, вектор эксцентриситета вершин, плотность графа, хроматическое число графа, матричный код графа, метрические характеристики графа, в том числе центр, радиус и диаметр и др.

В последующих работах необходимо определить полный инвариант графа G , с необходимым и достаточным количеством характеристик графа, сохранение которых для доопределенного графа $G1$ позволит доказать их идентичность, а также разработать алгоритм догенерации графа с учетом специфики модели взаимодействий социальных групп.

Литература

1. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. О решении некоторых задач, возникающих при моделировании взаимодействия социальных групп // VIII Всероссийская научная конференция «Системный синтез и прикладная синергетика»: сборник научных трудов. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2017. С. 240–249.

2. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. О проблемах при моделировании взаимодействия социальных групп // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'17». Научное издание : в 3 т. Таганрог : Изд-во Ступина С.А., 2017. Т. 2. С. 149–151.
3. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р., Целых А.А., Самойлов А.Н. Обобщение графов ситуаций на основе спискового алгоритма свертки для задач ситуационного управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 3. С. 111–121.
4. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. Применение алгоритма свертки для разделения графа на пропорциональные подграфы // Вестник УГАТУ, 2018. Т. 22, № 1.
5. Мунтян Е.Р. О задаче разделения графа на пропорциональные подмножества вершин // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ – 2017»: сборник статей всероссийской научно-технической конференции, г. Севастополь, 18–20 сентября 2017 г. / М-во образования и науки РФ, Севастопольский государственный университет ; науч. ред. Е.Н. Машенко. Севастополь : СевГУ, 2017. С. 71–73.
6. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. Локализация вершин графа для задач представления объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 7. С. 144–154.
7. Latur B. When things strike back: a possible contribution of 'science studies' to the social science // British J. of Sociology. L., 2000. Vol. 51, № 1. P. 107–123.
8. Абросимов М.Б., Долгов А.А. Практические задания по графам. 2-е изд. : учеб. пособие. Саратов : Научная книга, 2009. 76 с.
9. Визинг В.Г. Некоторые нерешенные задачи в теории графов // Успехи математических наук. 1968. Т. 23, вып. 6 (144). С. 117–134.
10. Раппопорт А.М. Метрические характеристики графов сетей коммуникаций // Труды ИСА РАН. 2005. Т. 14. С. 141–147.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПАНИКУЮЩЕЙ ТОЛПЫ В ПРОВЕРЯЕМОМ ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ЭВАКУАЦИИ

Э.Т. Саакян, А.Д. Ермаков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
edouard.saakyan@yandex.ru, antonermak@inbox.ru

Очевидно, что в процессе эвакуации немаловажным фактором является время, за которое люди способны покинуть опасную территорию. На это может повлиять как структура здания, так и состояние самих людей в момент опасности. На данный момент существуют некоторые методы моделирования поведения людей в подобных ситуациях, но в большинстве случаев такие методы не учитывают третье измерение, а анализируют только двухмерное пространство. Также данные методы сильно упрощают модель человека, исключая физические параметры и взаимодействие с другими людьми, сводя движение людей к движению множества частиц, двухмерных фигур и т.д. Для решения данной задачи нами было предложено использовать теорию автоматов, а также возможности среды разработки игр *Unreal Engine 4* (UE4).

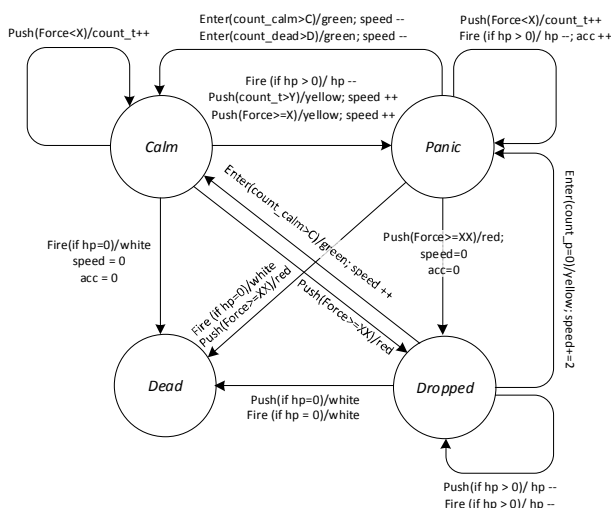


Рис. 1. Модель расширенного автомата, описывающая взаимодействия людей в толпе

Для моделирования поведения толпы мы вводим две модели: физическую модель для каждого из людей (используя возможности UE4) и модель расширенного автомата для описания взаимодействия людей в толпе в момент паники. В физическую модель входят такие параметры, как: *вес*, *максимальная скорость*, *сила*, *здоровье* и *ускорение*. Это начальные состояния модели, от них будет зависеть поведение. Для того чтобы построить расширенный автомат, нам необходимо понимать, что такое *толпа* и *паника*. Под *толпой* в данной

работе понимается большое скопление людей [1]. Организующим фактором может быть общий объект внимания, традиция, событие. Члены *толпы* часто находятся в сходном эмоциональном состоянии. *Толпа* описывается целым рядом параметров и характеристик, такими как количество собравшихся людей, направление и скорость движения, психологическое состояние. *Паника* [2] – проявление массового страха перед действительной или мнимой опасностью. Паника может охватывать как одного, так и несколько людей, при этом трудно поддается сознательному контролю. Возвращаясь к автомату, с учетом приведенных выше определений, мы выделили четыре состояния человека в толпе: *calm* (спокойный), *panic* (паникующий), *dropped* (упавший), *dead* (мертвый), а также некоторое количество переходов между этими состояниями, имитирующих взаимодействие между людьми в толпе.

На рис. 1 представлена модель предложенного расширенного автомата. В качестве входных параметров мы выделили «*Push*» (толчок оппонентом), «*Fire*» (воздействие огнём), «*Enter*» (вхождение в личное пространство).

Например, из состояния «*Calm*» в состояние «*Panic*», человек может перейти, если его толкнут с силой, большей или равной *XX*. Человек может упасть (перейти в состояние «*Dropped*»), если его толкнут оппоненты с силой, большей *XX*. Далее это может привести к летальному исходу, если у человека не останется очков здоровья *hp*. С другой стороны упавшего человека могут поднять на ноги оппоненты в состоянии «*Calm*», если их количество будет больше, чем *C*.

Также, на человека может воздействовать огонь, уменьшая *hp*. При *hp* равном нулю расширенный автомат переходит в состояние «*Dead*», то есть человек мертв. Состояние «*Dead*» – конечное состояние модели, из него модель не может перейти в другие состояния, так как основополагающим является невозможное в данной ситуации здоровье *hp*.

На данный момент модель требует дальнейшей доработки в процессе компьютерных экспериментов. Будут вноситься дополнительные корректировки параметров *C*, *X*, *XX*, *hp*.

Литература

1. Назаретян А.П. Агрессивная толпа, массовая паника, слухи. Лекции курса «Агрессивная толпа, массовая паника, слухи» // Институт востоковедения РАН. URL: <http://evartist.narod.ru/text11/27.htm>
2. Моляко В. Паника в условиях экологического бедствия // Гражданская защита. 2008. № 4. С. 41–45.

СИСТЕМА ПОИСКА ВИДЕО В ДИНАМИЧЕСКОМ АРХИВЕ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

М.С. Сорокин¹, Г.Б. Захарова^{1,2}

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный архитектурно-художественный университет, Екатеринбург, Россия
sjfh@yandex.ru, zgb555@gmail.com

Бизнес-процессы современной телевизионной компании отличаются большой сложностью, трудоёмкостью и слабой степенью автоматизации. Создаётся огромное количество видео контента, при работе с которым тратятся большие ресурсы. В целях грамотной структуризации и архивации видеоматериала для эффективного поиска при его повторном использовании разработана система, которая позволяет автоматизировать процесс распознавания данных о содержимом видеофайлов. Для распознавания изображений в видеофайле использовалась сверточная нейронная сеть (как основа для Label Detection использовалась сеть VGG16), при реализации применялся язык программирования Python.

Система автоматизации поиска видео семантически состоит из трёх частей:

– подсистема поддержки видео архива: фоновое приложение, которое при внесении в первичный архив нового видео выполняет его обработку по выделению ключевых кадров и оптимизацию;

– подсистема распознавания изображений на основе нейронной сети (например, ‘улица, лето, дерево 50%, медведь 10%’);

– собственно поиск, который по голосовому запросу пользователя формирует текст, представляющий искомый объект (‘кот, комната’) на видео изображении и возвращающий пути к найденным релевантным видео в архиве.

Фоновое приложение представляет собой программу, получающую на вход папку отслеживания. На фазе инициализации программа проверяет соответствие каждого видеофайла в папке отслеживания с уже имеющимися метаданными к этим файлам. Излишние данные удаляются. При выявлении видеофайлов без метаданных, а также при появлении новых файлов, в папке формируется поток для создания соответствующих данных. В потоке создается дочерний процесс, который позволяет получить из видеофайла массив ключевых кадров. Набор кадров хранится во временной папке. Далее массив изображений сокращается за счёт удаления заглушек, схожих между собой и прочих, не содержащих полезной информации, кадров.

На основе массива изображений подготавливается набор данных для анализа нейронной сетью. Изображения классифицируются тремя моделями. Бинарным классификатором, определяющим место съемки внутри или снаружи помещения (Indoor/Outdoor), время года съемки (Season) и детектирование класса, к которому относится изображение по виду объектов на нём: человек, автомобиль, компьютер и т.д. (Label Detection). Из полученных сведений формируется метафайл, описывающий видеофайл и содержащий: хэш файла, общую продолжительность видеофайла, количество релевантных кадров, признаки снаружи/внутри помещения и время года, 10-200 наиболее вероятных объектов (в зависимости от настроек и продолжительности видео).

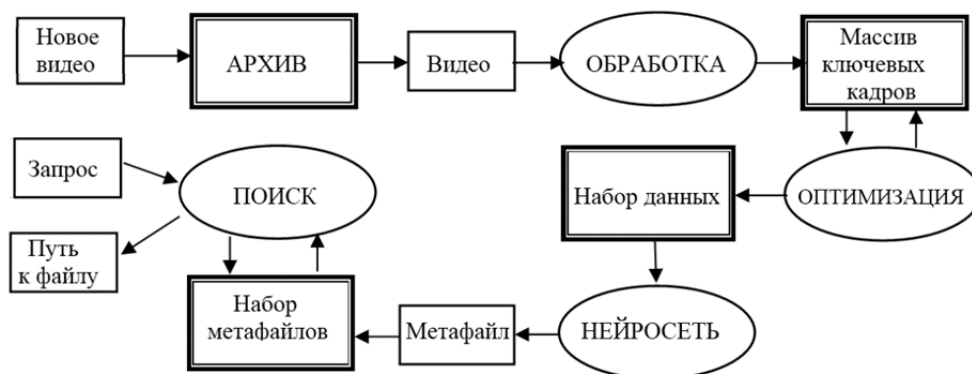


Рис. 1. Структура системы

Приложение поиска предоставляет интерфейс с возможностью фильтрации по ключевым характеристикам в метафайле. Программа объединяет сведения о файлах в заданной папке, после чего производит поиск по этим данным. Далее выводится превью соответствующих запросу видеофайлов в порядке релевантности с описанием других имеющихся образов в этих видео файлах.

Система позволяет сократить время поиска в видеоархиве и оперативно получать доступ к видеозаписям независимо от количества файлов в архиве, что особенно критично для телекомпаний.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИС СВЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Б.В. Ширяев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
harger.net@mail.ru

Визуальный контроль при производстве СВЧ МИС заключается в контроле качества изготавливаемых устройств по их внешнему виду. Современные масштабы выпуска МИС и полупроводниковых приборов настолько огромны, что визуальный контроль отнимает большое количество времени и требует значительных усилий со стороны контролирующего оператора. Автоматизация визуального контроля с использованием искусственных нейронных сетей позволяет повысить скорость и качество детектирования дефектов с сохранением интеллектуального уровня распознавания дефектов.

Алгоритм визуального контроля определяет последовательность операций над микрофотографией СВЧ МИС и чертежом её фотошаблона в электронном формате для оценки качества внешнего вида СВЧ МИС. В идеальном случае чертёж и микрофотография МИС СВЧ должны полностью совпадать, в реальности они имеют незначительные отличия из-за особенности технологии изготовления и контроля (рис. 1).

Общая последовательность алгоритма оценки дефектности СВЧ МИС сведена к выполнению следующих этапов:

- 1) подготовительный этап: поиск точек совмещения чертежа и микрофотографии СВЧ МИС, расчёт масштаба, положения и состояния чертежа, растрезация векторного чертежа;
- 2) этап вычислений: преобразование микрофотографии в эквивалентную двумерную матрицу с закодированными пикселями, сквозное выделение сканируемых областей из матрицы и растрезанного чертежа, расчёт нейронной сетью дефектности отдельных пар участков матрицы и фотошаблона;
- 3) этап оценки: устранение случайных ошибок, заключение о качестве внешнего вида исследуемой СВЧ МИС.

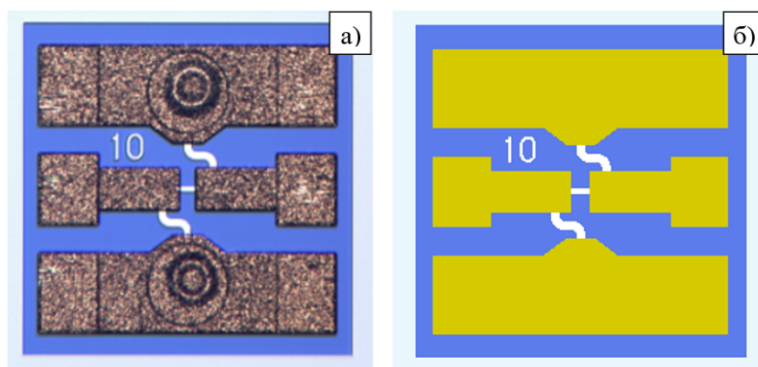


Рис. 1. Микрофотография готового устройства (а) и маска, полученная из чертежа фотошаблона этого устройства (б)

В качестве вычислительной основы алгоритма автоматизированного визуального контроля используется искусственная свёрточная нейронная сеть с двумя входами [1]: один вход предназначен для расчёта участка микрофотографии, другой – для участка растрованного чертежа фотошаблона.

Разработанный алгоритм автоматизированного визуального контроля позволяет сравнивать микрофотографию СВЧ МИС с векторным изображением чертежа фотошаблона и оценивать степень дефектности поверхности СВЧ МИС. Основной расчётный метод определения степени дефектности основан на искусственных нейронных сетях и позволяет повысить эффективность осуществления визуального контроля СВЧ МИС без потери качества детектирования дефектов.

Литература

1. Jure Žbontar, Yann LeCun. Computing the Stereo Matching Cost with a Convolutional Neural Network // Computer Vision Foundation. 2015. P. 1592–1599.

БЫСТРЫЕ АЛГОРИТМЫ УСТОЙЧИВОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ*

А.А. Азарян, А.Н. Тырсин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
a.a.azaryan@gmail.com, at2001@yandex.ru

При построении линейных моделей во многих случаях приходится сталкиваться со стохастической неоднородностью экспериментальных данных. В этих условиях оценивание параметров моделей требуется выполнять с помощью устойчивых методов. К их числу относят метод наименьших модулей (МНМ) [1] и обобщенный метод наименьших модулей (ОМНМ) [2]. Однако известные алгоритмы их реализации применимы лишь для малых размерностей моделей и ограниченного объема выборки. В докладе описаны эффективные вычислительные алгоритмы реализации данных методов, не имеющих таких ограничений.

Модель линейной регрессии имеет вид $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{a} + \boldsymbol{\varepsilon}$, где $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}_{n \times m} = (\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_n)^T$ – заданная матрица; $\mathbf{a} \in \mathbf{R}^m$, $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^n$, $\boldsymbol{\varepsilon} \in \mathbf{R}^n$ – векторы коэффициентов регрессии, измерений и случайных ошибок.

МНМ- и ОМНМ-оценки коэффициентов модели находят путем решения соответствующих задач

$$Q(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^n |y_i - \mathbf{x}_i \mathbf{a}| \rightarrow \min_{\mathbf{a} \in \mathbf{R}^m}, \quad W(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^n \rho(|y_i - \mathbf{x}_i \mathbf{a}|) \rightarrow \min_{\mathbf{a} \in \mathbf{R}^m}, \quad (1)$$

где $\rho(\cdot)$ – некоторая монотонно возрастающая, дважды непрерывно-дифференцируемая на положительной полуоси функция, причем $\rho(0) = 0$, $\forall t > 0 \quad 0 < \rho'(t) < \infty$, $-\infty < \rho''(t) < 0$.

Решения задач (1) и (2) находятся в узловых точках [2, 3]. Введем гиперплоскости $\Omega_i = \Omega(\mathbf{a}, \mathbf{x}_i, y_i)$ в виде уравнений $y_i - \mathbf{x}_i \mathbf{a} = 0$, $i = 1, 2, \dots, n$. Они пересекаются в узловых точках

$$\mathbf{a}_{(k_1, \dots, k_m)} = \bigcap_{i=k_1}^{k_m} \Omega_i, \quad 1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_m \leq n, \quad k_s \in N.$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 17-01-00315а.

Поскольку минимумы функций $Q(\mathbf{a})$ и $W(\mathbf{a})$ являются узловыми точками, поэтому точные решения задач (1) могут быть получены путем перебора всех C_n^m узловых точек. Функции $Q(\mathbf{a})$ и $W(\mathbf{a})$ имеют вытянутые «овраги», расположенные на узловых прямых, представляющим собой пересечения $(m-1)$ узловых прямых. Ввиду выпуклости функции $Q(\mathbf{a})$ спуск по узловым прямым всегда приводит к точному нахождению ее минимума. Вычислительная сложность алгоритма составляет $W = O(m^2 n^2 + m^4 n \ln n + m^2 n \ln^2 n)$ операций [4].

Поиск минимума функции $W(\mathbf{a})$ также осуществляется по узловым прямым и состоит в следующем.

1. Используем в качестве начального приближения $\mathbf{a}^{(1)}$ решение минимум функции $Q(\mathbf{a})$.
2. Уточняем решение путем спуска из узловой точки $\mathbf{a}^{(1)}$, поочередно двигаясь вдоль каждой из m узловых прямых, проходящих через $\mathbf{a}^{(1)}$. Выберем ту узловую точку, в которой целевая функция $W(\mathbf{a})$ достигает наименьшего значения. Найдя эту точку, продолжим движение из нее по тому же принципу. В результате будет найдена узловая точка $\mathbf{a}^{(2)}$, спуск из которой невозможен.
3. Для найденной узловой точки $\mathbf{a}^{(2)}$ определим множество $\Omega(\mathbf{a}^{(2)})$ гиперплоскостей, состоящее из $\alpha \cdot 100\%$ гиперплоскостей, наименее удаленных от $\mathbf{a}^{(2)}$.
4. С помощью перебора среди всех узловых точек, получаемых в результате пересечения гиперплоскостей из множества $\Omega(\mathbf{a}^{(2)})$ находим ту точку $\mathbf{a}^{(3)}$, в которой целевая функция принимает наименьшее значение.
5. Найденную узловую точку $\mathbf{a}^{(3)}$ сравниваем с начальным приближением $\mathbf{a}^{(1)}$. Если они совпадают, то в качестве решения задачи берется полученная узловая точка. В противном случае в качестве начального приближения $\mathbf{a}^{(1)}$ берем полученную узловую точку, переходим к п. 2 и повторяем вышеописанные действия.

Литература

1. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. М. : Радио и связь, 1983. 304 с.
2. Тырсин А.Н. Робастное построение регрессионных зависимостей на основе обобщенного метода наименьших модулей // Записки научных семинаров ПОМИ. 2005. Т. 328. С. 236–250.
3. Тырсин А.Н., Максимов К.Е. Оценивание линейных регрессионных уравнений с помощью метода наименьших модулей // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78, № 7. С. 65–71.
4. Тырсин А.Н., Азарян А.А. Точные алгоритмы реализации метода наименьших модулей на основе спуска по узловым прямым // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2017. № 4. С. 21–32.

Секция 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМИТЕТОВ К АНАЛИЗУ ТЕХНИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ РЫНКА АКЦИЙ МОСКОВСКОЙ БИРЖИ

В.В. Акбердина, Н.П. Чернавин

Институт Экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
akb_vic@mail.ru, ch_k@mail.ru

Технический анализ является наиболее известным и простым инструментом анализа на финансовых рынках. Однако его простота основанная во многом на визуально-графическом анализе ведет одновременно к снижению качества получаемых результатов в связи с субъективностью процесса анализа.

В рамках указанной проблемы одним из решений является применение метода комитетов для анализа результатов получаемых от технических индикаторов. Метод комитетов позволяет получить некоторое обобщенное решения в противоречивых ситуациях, когда однозначное решение отсутствует [1. С. 56]. Название метода связано с тем, что логика работы метода напоминает работу «обычного комитета», как коллегиального руководящего органа, где решение принимается на основании решений экспертов. В методе комитетов такими «экспертами» выступают несколько разделяющих линейных дискриминантов (гиперплоскостей), называемых членами комитета, каждый из которых голосует за решение по-своему, разделяя множество на 2 класса.

С математической точки зрения метод комитетов - это композиция из линейных дискриминантов. За счет одновременного использования нескольких линейных дискриминантов, метод комитетов позволяет учитывать нелинейные связи переменных, что повышает качество классификации. Принятие решения на основе «голосования» всех членов комитета могут быть использованы различные логики, такие как например логика большинства (далее - КБ).

Попробуем проанализировать комбинацию технических индикаторов с применением КБ из 5 членов. Для сравнения составим модель для линейного разделения. В табл. 1 указаны выбранные индикаторы для анализа.

Таблица 1

Технические индикаторы для анализа

№	Индикатор	Период, дн
1	$\frac{\text{ЕМА Объем торгов сегодня}}{\text{ЕМА Объем торгов пред. дня}}$	5
2	Сигнал от медленного стохастического осциллятора (рост: 1 ; падение: -1)	5
3	$\frac{\text{Медленный Стохастический осциллятор сегодня}}{\text{Медленный Стохастический осциллятор предыдущего дня}}$	5
4	Сигнал от процентного диапазона Уильямса (рост: 1 ; падение: -1)	7
5	$\frac{\text{Открытие дня сегодня}}{\text{Закрытие дня вчера}}$	-
6	$\frac{\text{Закрытие дня сегодня}}{\text{Закрытие дня вчера}}$	-
7	Гистограмма MACD	7

Индикаторы № 1–4, 7 были выбраны согласно системе «Тройного выбора» А. Элдера [2. С. 231], однако при этом нами не используется философия принятия решения в рамках данного метода. В выбранной модели будет прогнозироваться, является ли верным сигнал, поступающий от индикатора № 2 на момент появления противоположного сигнала. Также к неверным сигналам будут относиться те из них, которые были закрыты по стоп-лоссу, выбранному согласно методу зоны безопасности [2. С. 181–188]. Ниже в табл. 2 дано описание множеств, выбранных для анализа.

Таблица 2

Описание обучающей и контрольной выборок

Выборка	Акции	Период	Множ. 1	Множ. 2	Итого наблюдений
Обучающая	Лукойл, Сбербанк	11.01.2010	406	265	671
Контрольная	Газпром, ГМК Норникель	19.01.2018	395	308	703

Результаты расчетов моделей методом комитетов и линейным разделением представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты линейного разделения и разделения КБ из 5 членов

Метод	Обучающаяся выборка		Контрольная выборка	
	Множ. 1	Множ. 2	Множ. 1	Множ. 2
Линейная классификация	59.25%	58.62%	48.70%	46.84%
КБ из 5 членов	63.79%	61.51%	50.32%	51.65%

Литература

1. Мазуров Вл.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации. М. : Наука, 1990. 248 с.
2. Элдер А. Как играть и выигрывать на бирже: Психология. Технический анализ. Контроль над капиталом. М. : Альпина Паблишер, 2016. 472 с.

ОЦЕНИВАНИЕ ЧИСЛА СОСТОЯНИЙ СИНХРОННОГО ДВАЖДЫ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ

Е.Н. Беккерман, И.С. Шмырин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
javajive@yandex.ru, is21@mail.ru

В настоящее время исследованию различных математических моделей дважды стохастических потоков событий с кусочно-постоянной случайной интенсивностью посвящена обширная литература (см. литературу диссертационных работ [1,2]). В подавляющем числе работ исследование ведется в предположении известного (априорно заданного) числа состояний интенсивности потока, однако, для реальных потоков событий число состояний интенсивности, как правило, неизвестно. В связи с этим возникает необходимость оценивания числа состояний интенсивности дважды стохастического потока событий по наблюдениям за моментами времени наступления событий потока.

В качестве исследуемой модели дважды стохастического потока событий рассматривается одна из наиболее распространенных [3–6] моделей – синхронный дважды стохастический поток событий с конечным числом состояний. Приводится подробное описание математической модели синхронного потока событий на основе [7], рассматривается задача оценивания числа состояний синхронного потока событий по наблюдениям за потоком. Вводится понятие интервала постоянства интенсивности синхронного потока событий, доказывается закон распределения длительности интервала постоянства интенсивности синхронного потока с использованием методики [8]. С учетом существующих исследований [9,10] обосновывается возможность использования теоретических и практических результатов, полученных при решении задачи оценивания числа состояний асинхронного потока событий, для решения задачи оценивания числа состояний синхронного потока событий.

Литература

1. Нежелская Л.А. Автореферат дис. ... доктора физико-математических наук / Нац. исслед. Том. гос. ун-т. Томск, 2017.
2. Сиротина М.Н. Автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук / Нац. исслед. Том. гос. ун-т. Томск, 2017.
3. Нежелская Л.А., Сидорова Е.Ф. Алгоритм оптимального оценивания состояний обобщенного синхронного потока событий второго порядка // Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем : материалы V Международной молодежной научной конференции / под общ. ред. И.С. Шмырина. 2017. С. 105–113.
4. Сиротина М.Н., Горцев А.М. Оценка максимального правдоподобия длительности мертвого времени в модулированном синхронном дважды стохастическом потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 1 (34). С. 50–64.
5. Горцев А.М., Сиротина М.Н. Совместная плотность вероятностей значений длительности интервалов между соседними событиями модулированного синхронного дважды стохастического потока в условиях непродлевающегося мертвого времени // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 11-2. С. 127–132.
6. Нежелская Л.А., Крюкова Н.С. Оптимальная оценка состояний синхронного потока событий в условиях непродлевающегося мертвого времени // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 11-2. С. 158–163.
7. Бушланов И.В., Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценка параметров синхронного дважды стохастического потока событий // Автоматика и телемеханика. 2008. № 9. С. 76–93.
8. Василевская Т.П., Загородняя М.Е., Шмырин И.С. О соотношении моделей МАР-потока событий и асинхронного, полусинхронного и синхронного дважды стохастического потока событий // Вестник Томского государственного университета. 2004. № S9 (II). С. 138–144.

9. Беккерман Е.Н. Автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук / Нац. исслед. Том. гос. ун-т. Томск, 2017.
 10. Беккерман Е.Н., Катаев С.Г., Катаева С.С. Эвристический метод аппроксимации случайного потока событий МС-потоком с произвольным числом состояний // Автоматика и телемеханика. 2013. № 9. С. 20–33.

PARAMETER ESTIMATION AND CHANGE-POINT DETECTION FOR AR(P)/ARCH(Q) PROCESS WITH UNKNOWN PARAMETERS*

S.E. Vorobeychikov, Yu.B. Burkatovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
 Tomsk State University, Tomsk, Russia
 International Laboratory Statistics of Stochastic Processes and Quantitative Finances, Tomsk, Russia
 tracey@tpu.ru

The problem of change point detection arises often in different applications connected with time series analysis, financial mathematics, image processing etc. Sequential methods include a special stopping rule that determines a stopping time. Due to a special stopping rule, we construct statistics with variances bounded from above by a known constant. Consequently, we can estimate non-asymptotically the probabilities of false alarm and delay, but we also investigate asymptotic properties of the statistics.

We consider scalar autoregressive process AR(p)/ARCH(q) specified by the equation

$$x_k = \lambda_1 x_{k-1} + \dots + \lambda_p x_{k-p} + \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 x_{k-1}^2 + \dots + \alpha_q x_{k-q}^2} \xi_k$$

Here $\{\xi_k\}_{k \geq 1}$ – is a sequence of independent identically distributed random variables with zero mean and unit variance. The density distribution function $f_\xi(x)$ of $\{\xi_k\}_{k \geq 1}$ is strictly positive for any value of x . Parameters $\Lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_p]$ and $A = [\alpha_0, \dots, \alpha_q]$ are supposed to be unknown.

Since the noise variance of the observed process is unbounded from above, we transform the model; hence, we obtain a model with the noise variance bounded from above by an unknown constant. For parameter estimation of the process, we construct a special factor Γ_n at the interval $[0, n+s]$, where $s = \max\{q, p\}$, to compensate the influence of the unknown constant. Then, we estimate autoregressive parameters by using this factor in the frame of sequential procedure. We introduce a stopping time $\tau(H)$ depending on the positive parameter H and construct a weighted least-squares sequential estimator on the interval $[n+1, \tau]$. Due to the stopping time and the weights, the standard deviation of the estimator is bounded from above by a known constant, which is inversely proportional to H . Also we prove a variant of vector central-limit martingale theorem, which allows investigating asymptotic properties of the estimator.

Suppose that after a certain instant θ , parameter vectors (Λ, A) change their values from (Λ_0, A_0) to (Λ_1, A_1) , and $\|\Lambda_0 - \Lambda_1\|^2 \geq \Delta$. We construct a series of sequential estimation plans $(\tau_i, \hat{\Lambda}_i)$, where $\{\tau_i\}$ is the increasing sequence of the stopping instances ($\tau_0 = -1$), and $\hat{\Lambda}_i$ is the guaranteed parameter estimator on the interval $[\tau_{i-1}+1, \tau_i]$. Then we choose an integer $l > 1$ and associate the statistic J_i with the i -th interval for all $i > 1$

$$J_i = (\hat{\Lambda}_i - \hat{\Lambda}_{i-l})^T (\hat{\Lambda}_i - \hat{\Lambda}_{i-l}).$$

This statistic is the squared deviation of the estimators with numbers i and $i-l$. The proposed statistics change their expectation after a change point. That allows us to construct the following change-point detection algorithm. The J_i values are compared with a certain threshold δ . The change point is considered to be detected when the value of the statistic exceeds δ .

The probabilities of false alarm P_0 and the probability of delay P_1 in any observation cycle $[\tau_{i-1}+1, \tau_i]$ are important characteristics of any change point detection procedure. Due to the application of the guaranteed parameter estimators in the statistics, we can obtain the upper bounds for these probabilities

$$P_0 \leq \frac{4(H+p-1)}{\delta H^2}, \quad P_1 \leq \frac{4(H+p-1)}{(\sqrt{\Delta} - \sqrt{\delta})^2 H^2}.$$

Asymptotic properties of the estimators let us establish the following asymptotic upper bounds of the error probabilities. For ergodic AR(p)/ARCH(q) process and for sufficiently large H we obtain the inequalities

$$P_0 \leq 4 \left(1 - \Phi \left(\frac{\sqrt{\delta} H}{2\sqrt{(H+p-1)}} \right) \right), \quad P_1 \leq 4 \left(1 - \Phi \left(\frac{(\sqrt{\Delta} - \sqrt{\delta}) H}{2\sqrt{(H+p-1)}} \right) \right).$$

* Authors are supported by the RFBR grant № 16-01-00121.

We conducted numerical simulation of the proposed estimation and change point detection algorithms for AR(p)/ARCH(q) process. For the estimator, the mean number of the observations increases linearly by H . This property is important for sequential estimators. The sample mean-square error of the estimation is about three times less than the theoretical one. One can see that when the difference between the parameters is sufficiently large then the sample error probabilities are much less than their theoretical upper bounds. Moreover, generally no false alarms and skipping the change point were registered. The results of numerical simulation prove the possibility to use the proposed algorithm used for change point detection of recurrent processes with unknown noise variance. However, the algorithms should be improved through more accurate compensation of the noise variance.

АНАЛИЗ ОТКРЫТОЙ СЕТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ ЗАЯВОК И ОБХОДАМИ

А.О. Галицкая

Гродненский государственный университет имени Я. Купалы, Гродно, Республика Беларусь
g_alexandra_06@mail.ru

Рассмотрим открытую сеть массового обслуживания с однотипными заявками, общее число которых ограничено. Пусть $S_i, i = \overline{1, n}$ – СМО, между которыми циркулируют заявки, S_0 – внешняя среда. Каждая заявка входного потока независимо от других с вероятностью p_{0i} направляется в i -ю СМО, $i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n p_{0i} = 1$.

Предположим, что система S_i имеет m_i линий обслуживания, каждая из которых обслуживает заявки по показательному закону с интенсивностью $\mu_i, i = \overline{1, n}$. В систему поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Заявка, завершающая обслуживание в системе S_i , мгновенно независимо от других заявок

с вероятностью $p_{ij}, j = \overline{1, n}$, переходит в систему S_j или с вероятностью p_{i0} покидает сеть, $\sum_{j=0}^n p_{ij} = 1$.

Матрицы вероятностей переходов $P = \|p_{ij}\|, 0 \leq p_{ij} \leq 1$, являются стохастическими матрицами, соответствующей неприводимой марковской цепи.

Будем считать, что общее число заявок в рассматриваемой открытой сети ограничено константой K . Состояние сети определяется вектором

$$k(t) = (k_1(t), k_2(t), \dots, k_n(t)), \quad (1)$$

где $k_i(t)$ – число заявок в системе S_i в момент времени $t, i = \overline{1, n}$.

Проведен асимптотический анализ марковского процесса (1) при большом, но ограниченном числе заявок. Пусть $\varphi_i, \alpha_i, \beta_{ij}$ – условные вероятности событий, определенные в [1], $i, j = \overline{1, n}$.

Чтобы найти распределение вероятностей случайного вектора $k(t)$ рассматривается вектор

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) = \left(\frac{k(t)}{K} \right) = \left(\frac{k_1(t)}{K}, \frac{k_2(t)}{K}, \dots, \frac{k_n(t)}{K} \right).$$

Доказано, что плотность распределения вектора (1) с точностью до $O\left(\frac{1}{K^2}\right)$ удовлетворяет уравнению

Колмогорова-Фоккера-Планка:

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} = - \sum_{i=0}^n \frac{\partial}{\partial x_i} (A_i(x, t) p(x, t)) + \frac{\varepsilon}{2} \sum_{i, j=0}^n \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} (B_{ij}(x, t) p(x, t)), \text{ где}$$

$$A_0(x, t) = \sum_{j=0}^n \mu_j \varepsilon_j(x_j, t) (\beta_{0j} - \delta_j) + \lambda \left(1 - \sum_{i=0}^n x_i \right) (1 - \varphi_0), i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$$A_i(x, t) = \sum_{j=0}^n \mu_j \varepsilon_j(x_j, t) (\beta_{ij} - \delta_j) + \sum_{j=0}^n \mu_j \varepsilon_j(x_j, t) (\alpha_j - \delta_j), i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

где δ_{ij} – символ Кронекера, $\varepsilon_j(x_j, t) = \min(x_j(t), m_j), i = \overline{1, n}$.

Зная функции (2), (3) можно составить систему обыкновенных дифференциальных уравнений для среднего числа заявок в системах сети и решить ее.

Полученные результаты могут быть применены при моделировании процессов обслуживания клиентов в страховых компаниях.

Литература

1. *Малинковский, Ю. В.* Сети массового обслуживания с обходами узлов заявками // Автоматика и телемеханика. 1991. № 2. С. 102–110.

ВЕКТОРНОЕ ЭНТРОПИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОМЕРНЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ*

Г.Г. Геворгян, А.Н. Тырсин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
garnik.ggg@gmail.com, at2001@yandex.ru

Представим сложную стохастическую систему в виде многомерной непрерывной случайной величины $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$. Каждый элемент Y_i вектора \mathbf{Y} является одномерной случайной величиной, которая характеризует функционирование соответствующего элемента исследуемой системы. Элементы могут быть как взаимозависимыми, так и не зависеть друг от друга.

Векторная энтропийная модель состоит в представлении дифференциальной энтропии $H(\mathbf{Y})$ многомерной стохастической системы в виде двумерного вектора $\mathbf{h}(\mathbf{Y}) = (h_V; h_R) = (H(\mathbf{Y})_V; H(\mathbf{Y})_R)$, компонентами которого являются энтропии хаотичности $H(\mathbf{Y})_V$ и самоорганизации $H(\mathbf{Y})_R$, равные [1]

$$H(\mathbf{Y})_V = \sum_{i=1}^m \ln \sigma_{Y_i} + \sum_{i=1}^m \kappa_i, \quad H(\mathbf{Y})_R = \frac{1}{2} \sum_{k=2}^m \ln(1 - R_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}^2),$$

где σ_{Y_i} – средние квадратические отклонения, $\kappa_i = H(Y_i / \sigma_{Y_i})$ – энтропийный показатель типа закона распределения случайной величины Y_i ; $R_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}^2$ – индексы детерминации регрессионных зависимостей.

Для многомерной гауссовской случайной величины \mathbf{Y} имеем [2]

$$H(\mathbf{Y})_V = \sum_{i=1}^m \ln \sigma_{Y_i} + m \ln \sqrt{2\pi e}, \quad H(\mathbf{Y})_R = \ln(|\mathbf{R}|) / 2,$$

где \mathbf{R} – корреляционная матрица случайного вектора \mathbf{Y} .

Векторное управление заключается в переводе вектора $\mathbf{h}(\mathbf{Y})$ из состояния $\mathbf{h}(\mathbf{Y}^0) = (h_V^0; h_R^0)$ в состояние $\mathbf{h}(\mathbf{Y}^*) = (h_V^*; h_R^*)$, соответствующее эффективному функционированию стохастической системы.

Для гауссовской стохастической системы задача векторного энтропийного управления состоит в том, чтобы направить энтропию из некоторой начальной точки $(h_V^0; h_R^0) = (H(\mathbf{Y}^0)_V; H(\mathbf{Y}^0)_R)$ с ковариационной матрицей Σ_0 в конечную точку $(h_V^*; h_R^*)$ при минимальном изменении ковариационной матрицы $\Sigma = \{\sigma_{ij}\}$

$$\left\{ \begin{array}{l} G(\Sigma) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=i}^m (\sigma_{ij} - a_{ij})^2 \rightarrow \min_{\sigma_{ij}}, \\ \prod_{i=1}^m \sigma_{ii} - \frac{e^{2A-m}}{(2\pi)^m} = 0, \\ \frac{1}{\prod_{i=1}^m \sigma_{ii}} |\Sigma| - e^{2B} = 0, \\ \sigma_{ij}^2 < \sigma_{ii} \sigma_{jj}, \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \sigma_{ii} > 0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq m, \\ \Sigma > 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $a_{ij} = \sigma_{ij}^0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq m$, $A = h_V^*$, $B = h_R^*$, последнее ограничение в (1) означает положительную определенность матрицы Σ .

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 17-01-00315а.

Разработан алгоритм решения задачи (1) на основе штрафных функций. При этом минимумы вспомогательных функций можно находить численными методами поиска безусловного экстремума любого порядка.

Показано, что в ряде случаев векторное энтропийное управление имеет преимущества по сравнению со скалярным управлением. Приведены примеры энтропийного управления для реальных систем.

Литература

1. Тырсин А.Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем. Воронеж : Научная книга, 2016. 156 с.
2. Тырсин А.Н., Соколова И.С. Энтропийно-вероятностное моделирование гауссовских стохастических систем // Математическое моделирование. 2012. Т. 24, № 1. С. 88–103.

ADAPTIVE PREDICTION OF NON-GAUSSIAN ORNSTEIN-UHLENBECK PROCESS*

T.V. Dogadova, V.A. Vasiliev

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
 aurora1900@mail.ru, vas@mail.tsu.ru

Prediction problem of the non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck process is solved. Non-asymptotic upper bound of the second moment of the prediction errors is found. It is shown that this bound is inverse proportional to the duration of observations. Non-asymptotic properties of adaptive predictors are obtained due to the usage of the truncated estimators [1] of the unknown parameters constructed by samples of fixed size.

In this paper we propose adaptive optimal predictors of non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck process. Their optimality in the sense of a special risk function is shown. The used risk function makes it possible to optimize the duration of observations along with the prediction quality. The risk function of similar structure first appeared in [2] for the problems of parameter estimator's optimization.

Prediction problem for Gaussian Ornstein-Uhlenbeck process was solved in [3, 4] on the basis of truncated estimators.

Consider the stable non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck process driven by the Lévy process

$$dx_t = ax_t dt + d\xi_t, \quad t \geq 0. \quad (1)$$

Optimal in the mean square sense predictor is the conditional mathematical expectation

$$x_t^0 = bx_{t-u}, \quad t > u,$$

where $b = e^{au}$.

Define adaptive predictor as

$$\hat{x}_t(t-u) = \hat{b}_{t-u} x_{t-u}, \quad t > u, \quad (2)$$

where $\hat{b}_{t-u} = e^{\hat{a}(t-u)}$, $t > u$; $\hat{a}_t = \text{proj}_{(-\infty, 0]} a_t$, a_t is the truncated estimator of the parameter a constructed on the basis of the least squares estimator.

Define the loss function

$$L_t = \frac{A}{t} e^2(t) + t, \quad t \geq u, \quad e^2(t) = \frac{1}{t} \int_u^t e^2(s-u) ds$$

and the parameter $A > 0$ that is the cost of prediction error. We also define the risk function $R_t = EL_t$ and consider optimization problem

$$R_t \rightarrow \min_t.$$

When the parameters of the model (1) are known then for some known number σ the optimal duration of observations T_A^0 and the corresponding value of $R_{T_A^0}^0$ are respectively

$$T_A^0 = A^{1/2} \sigma, \quad R_{T_A^0}^0 = 2A^{1/2} \sigma.$$

When the parameters are unknown, we solve the adaptive optimal prediction problem. To this end we define the estimator T_A of the optimal time T_A^0 and find the obviously modified risk $\bar{R}_A = EL_{T_A}$.

Theorem. Assume the model (1). Let the predictors $\hat{x}_t(t-u)$ be defined by (2). Then for every $a < 0$

$$\text{i) } \frac{T_A}{T_A^0} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} 1 \text{ a.s.;} \quad \text{ii) } \frac{ET_A}{T_A^0} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} 1; \quad \text{iii) } \frac{\bar{R}_A}{R_{T_A^0}^0} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} 1.$$

* This study was supported by the Russian Science Foundation under grant No. 17-11-01049 and performed in National Research Tomsk State University.

References

1. *Vasiliev V.A.* A Truncated Estimation Method with Guaranteed Accuracy // *Annals of Institute of Statistical Mathematics.* 2014. № 66. P. 141–163.
2. *Chernoff H.* *Sequential Analysis and Optimal Design.* SIAM, Philadelphia, 1972.
3. *Dogadova T.V., Vasiliev V.A.* Adaptive prediction of stochastic differential equations with unknown parameters. *Vestnik of Tomsk State University // J. Control Comput. Sci.* 2017. Vol. 38. P. 17–23.
4. *Dogadova T.V., Vasiliev V.A.* On adaptive optimal prediction of Ornstein-Uhlenbeck process // *Appl. Math. Sci.* 2017. Vol. 11. P. 591–600.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЦЕНОК МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЦЕНОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ PSM

Ю.Г. Дмитриев¹, Ж.Н. Зенкова¹, А.Г. Зенков²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
zhanna.zenkova@mail.tsu.ru

Метод PSM – Price Sensitivity Meter [1] – применяется в маркетинге для определения цены, максимально согласующейся с предпочтениями потребителей, однако его статистические свойства изучены весьма слабо. Метод базируется на опросе N представителей целевой аудитории, в результате чего формируется независимая четырехмерная выборка $(X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, X_{k4})$, $k = \overline{1, N}$, где для k -ого потребителя X_{k1} – минимальная приемлемая цена, X_{k2} – оптимальная цена, X_{k3} – высокая, но еще приемлемая цена, X_{k4} – слишком высокая цена. Далее для $j = \overline{1, 4}$ строятся эмпирические функции распределения (э.ф.р.) $\hat{F}_j(x) = \sum_{k=1}^N I_{[0, x)}(X_{kj})/N$, где $I_{[0, x)}(\cdot)$ – индикаторная функция, для $i = 1, 2$ $\hat{S}_i(x) = 1 - \hat{F}_i(x)$. В итоге координаты x пересечений $\hat{F}_j(x)$, $j = 3, 4$ и $\hat{S}_i(x)$, $i = 1, 2$ определяют результирующие ценовые значения $\hat{x}^{(ij)} = \left\{ \max \left\{ x : \hat{F}_j(x) = \hat{S}_i(x) \right\}, x : \hat{S}_i(x+0) \leq \hat{F}_j(x) < \hat{S}_i(x) \right\}$, которые являются оценками медиан $x_{0.5}^{(ij)}$ ф.р. $G_{ij}(x) = (F_i(x) + F_j(x))/2$.

Показано, что оценки медиан $\hat{x}_{0.5}^{(ij)} = X_{(N+1)}^{(ij)}$, являющиеся $(N+1)$ -ми порядковыми статистиками в объединенных выборках (X_{ki}, X_{kj}) , $k = \overline{1, N}$, имеют асимптотически нормальные распределения

$$L\left(\sqrt{N}\left(\hat{x}_{0.5}^{(ij)} - x_{0.5}^{(ij)}\right)\right) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} N\left(0; v_{ij}^2\right) \quad (1)$$

где $v_{ij} = \sqrt{2F_{ij}(x_{0.5}^{(ij)}, x_{0.5}^{(ij)})} / g_{ij}(x_{0.5}^{(ij)})$, $F_{ij}(y, z)$ – совместная ф.р. случайных величин (с.в.) X_i и X_j для $i = 1, 2$ и $j = 3, 4$. При этом $F_{ij}(y, z) \neq F_i(y) \cdot F_j(z)$, т.к. для $i, j = \overline{1, 4}$, $i < j$, называемые потребителем цены $X_i < X_j$ не являются вообще говоря независимыми; $g_{ij}(x)$ – плотности ф.р. $G_{ij}(x)$, при этом предполагается, что для $m = \overline{1, 4}$ $\exists f_m(x)$ – плотности ф.р. $F_m(x)$ и $g_{ij}(x_{0.5}^{(ij)}) \neq 0$. Выражение (1) позволяет строить приближенные доверительные интервалы для $\hat{x}_{0.5}^{(ij)}$ с заданной доверительной вероятностью $\gamma \in (0, 1)$

$$X_{(N+1)}^{(ij)} - z_{(1+\gamma)/2} \cdot \hat{v}_{ij} / \sqrt{N} \leq x_{0.5}^{(ij)} \leq X_{(N+1)}^{(ij)} + z_{(1+\gamma)/2} \cdot \hat{v}_{ij} / \sqrt{N},$$

где $\hat{v}_{ij} = \sqrt{2\hat{F}_{ij}\left(\hat{x}_{0.5}^{(ij)}, \hat{x}_{0.5}^{(ij)}\right)} / \left(\hat{f}_i\left(\hat{x}_{0.5}^{(ij)}\right) + \hat{f}_j\left(\hat{x}_{0.5}^{(ij)}\right)\right)$ – оценка v_{ij} по объединенной выборке (X_{ki}, X_{kj}) , $k = \overline{1, N}$, $z_{(1+\gamma)/2}$ – квантиль уровня $(1+\gamma)/2$ стандартного нормального распределения, $\hat{g}_{ij}(x)$ – состоятельная оценка плотности в точке x .

Предложенный подход был применен для расчета ценовых предпочтений $N=52$ потенциальных потребителей нового программного продукта рынка B2B. Значения \hat{v}_{ij} рассчитывались с использованием ядерных оценок плотностей с гауссовым ядром. В итоге были получены следующие доверительные интервалы: с вероятностью $\gamma = 0.9$ минимально возможная цена $X_{0.5}^{(13)} \in (231.93; 282.07)$, максимально возможная цена $X_{0.5}^{(24)} \in (305.85; 330.15)$, оптимальная цена, позволяющая захватить большую долю рынка $X_{0.5}^{(14)} \in (271.58; 308.42)$, приемлемая, но подчеркивающая престижность и статусность товара цена

$X_{0.5}^{(23)} \in (292.27; 319.73)$ у.е./шт. Также доверительные интервалы моделировались с помощью бутстреп-метода с объемом бутстреп-выборки $M = 65\ 536$. В результате было получено, что с вероятностью $\gamma = 0.9$ $X_{0.5}^{(13)} \in (256.29; 261.31)$, $X_{0.5}^{(24)} \in (314.14; 316.88)$, $X_{0.5}^{(14)} \in (287.38; 292.37)$, $X_{0.5}^{(23)} \in (301.64; 304.79)$ у.е./шт.

Предприятию даны рекомендации по выбору ценовой стратегии при выводе нового товара на рынок.

Литература

1. Журко Е.С., Зенкова Ж.Н. Влияние априорной информации на результаты метода ценообразования на товар-новинку PSM // Актуальные проблемы и перспективы развития государственной статистики в современных условиях : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Саратов : Саратовстат, 2017. С. 66–68.

РЕКУРРЕНТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ СО СЛУЧАЙНЫМИ СКАЧКООБРАЗНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ДВУМЯ СОСТОЯНИЯМИ И НЕИЗВЕСТНЫМ ВХОДОМ*

К.С. Ким, В.И. Смагин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
kks93@rambler.ru, vsm@mail.tsu.ru

Задачи оптимального управления и оценивания для объектов с непрерывным временем и скачкообразными параметрами рассматривались в работах [1–4]. Аналогичные задачи для дискретных систем изучались в [5–7]. В настоящей работе рассмотрена задача синтеза оптимального экстраполятора для дискретного объекта со случайными скачкообразными параметрами с двумя состояниями и при наличии в объекте неизвестного входа.

Модель объекта описывается дискретным уравнением:

$$x(k+1) = A_\gamma x(k) + f(k) + q_\gamma(k), \quad x(0) = x_0,$$

где $x(k) \in \mathbb{R}^n$ – вектор состояния, x_0 – случайный вектор $\bar{x}_0 = M\{x_0\}$, $N_0 = M\{(x_0 - \bar{x}_0)(x_0 - \bar{x}_0)^T\}$; A_γ – заданная постоянная матрица; $f(k)$ – неизвестный вход; $\gamma = \gamma(k)$, $\gamma(k)$ – Марковская цепь с двумя дискретными состояниями γ_1, γ_2 ; $q_\gamma(k)$ – случайные ошибки наблюдений со следующими характеристиками $M\{q_\gamma(k)\} = 0$, $M\{q_\gamma(k)q_\gamma^T(k)\} = Q_\gamma \delta_{kj}$

Канал наблюдений имеет вид: $y = S_\gamma x(k) + v_\gamma(k)$, где $v_\gamma(k)$ – независимые гауссовские случайные последовательности с характеристиками: $M\{v_\gamma(k)\} = 0$, $M\{v_\gamma(k)v_\gamma^T(k)\} = V_\gamma \delta_{kj}$.

Требуется найти оценку состояния $\hat{x}(k)$ на основе минимизации следующего критерия:

$$J[0; T_f] = M\left\{\sum_{k=0}^{T_f} \sum_{i=1}^2 p_i(k) e^T(k) R_\gamma e(k) + \sum_{i=1}^2 p_i(T_f) e^T(T_f) L_\gamma(T_f) e(T_f)\right\} / \gamma(0) = \gamma_0,$$

где $e(k) = x(k) - \hat{x}(k)$, R_γ и $L_\gamma(T_f)$ – весовые матрицы, $p_i(k) = \sum_{j=1}^2 P_{ij} \cdot p_j(k)$, $p(0) = p_0$, где $P_{i,j}$ – вероятность перехода из состояния i в состояние j за один такт времени.

Оценка $\hat{x}(k)$ строится с использованием экстраполятора Калмана

$$\hat{x}(k+1) = A_\gamma \hat{x}(k) + \hat{f}(k) + K(y(k) - S_\gamma \hat{x}(k)), \quad \hat{x}(0) = \bar{x},$$

где $\hat{f}(k)$ – оценка неизвестного входа модели, рассчитанная с помощью метода МНК [8], $\bar{x}_0 = M\{x_0\}$, предполагаются известными начальные дисперсии $N_{0,i} = M\{(x_0 - \bar{x}_0)(x_0 - \bar{x}_0)^T / \gamma = \gamma_i\}$, $i = \overline{1,2}$.

Теорема: Если существуют положительно определенные матрицы N_i и L_i , являющиеся решением двухточечной краевой задачи:

$$N_i(k+1) = (A_i - KS_i)(p_{i,1}N_1(k) + p_{i,2}N_2(k))(A_i - KS_i)^T + Q_i + KV_iK^T, \quad N_i(0) = N_0,$$

$$L_i(k) = (A_i - KS_i)^T(p_{i,1}L_1(k+1) + p_{i,2}L_2(k+1))(A_i - KS_i) + R_i, \quad L_i(T_f) = L_{T,i}.$$

тогда вектор $\text{st}(K)$, составленный из строк матрицы K определится по формуле:

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 17-08-00920.

$$\text{ct}(K) = \left(\sum_{i=1}^2 p_i(k+1) [L_i(k+1) \otimes S_i(p_{i,1}N_1(k) + p_{i,2}N_2(k))S_i^T + L_i(k+1) \otimes V_i] \right)^{-1} \times \\ \times \text{ct} \left(\sum_{i=1}^2 p_i(k+1) L_i(k+1) A_i(p_{i,1}N_1(k) + p_{i,2}N_2(k))S_i^T \right).$$

Литература

1. Shi P., Boukas E.K., Agarwal R.K. Kalman filtering for continuous-time uncertain systems with Markovian jumping parameters // IEEE Transactions on Automatic Control. 1999. V. 44, is. 8. P. 1592–1597.
2. Смагин В.И., Пополухина Е.В. Синтез следящих систем управления для объектов со случайными скачкообразными параметрами и мультипликативными возмущениями // Вестник Томского государственного университета. 2000. № 271. С. 171–174.
3. Ломакина С.С., Смагин В.И. Робастная фильтрация в непрерывных системах со случайными скачкообразными параметрами // Вестник Томского государственного университета. 2003. № 280. С. 201–203.
4. Ломакина С.С., Смагин В.И. Робастная фильтрация для непрерывных систем со случайными скачкообразными параметрами и вырожденными шумами в наблюдениях // Автометрия. 2005. № 2. С. 36–43.
5. Liu W. State estimation for discrete-time Markov jump linear systems with time-correlated measurement noise // Automatica. 2017. V. 76. P. 266–276.
6. Costa E.F., B. De Saporta. Linear Minimum Mean Square Filters for Markov Jump Linear Systems // IEEE Trans. On Automatic Control. 2017. V. 62, is. 7. P. 3567–3572.
7. Смагин В.И., Смагин С.В. Фильтрация в линейных дискретных нестационарных системах с неизвестными возмущениями // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 3 (16). С. 43–51.

О НАХОЖДЕНИИ ОЖИДАЕМЫХ ДОХОДОВ В СЕТИ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ЗАЯВКАМИ И СИГНАЛАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Д.Я. Копать, М.А. Матальцкий

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь

Рассмотрим открытую G-сеть массового обслуживания с n однолинейными системами массового обслуживания (СМО), в которую поступают положительные заявки и сигналы r типов. В i -ю СМО из внешней среды поступает простейший поток обычных заявок (положительных) с интенсивностью λ^+ , и дополнительный поток сигналов, который также является простейшим с интенсивностью $\lambda^{(i)}$, $i = \overline{1, n}$. Все поступающие потоки независимы. Каждая положительная заявка входного потока независимо от других заявок направляется в i -тую СМО как заявка типа c с вероятностью p_{0ic}^+ , $\sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^r p_{0ic}^+ = 1$. Длительности обслуживания положительных заявок в i -й СМО c -ого типа распределены по экспоненциальному закону с параметром μ_{ic} , $i = \overline{1, n}, c = \overline{1, r}$.

В сети циркулируют не только положительные заявки, но и сигналы. Каждый сигнал входного потока независимо от других сигналов направляется в i -тую СМО как сигнал типа c с вероятностью p_{0ic}^- , $\sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^r p_{0ic}^- = 1$. Сигнал типа c , поступающий в СМО, в которой нет положительных заявок данного типа не оказывает никакого влияния и сразу исчезает из нее. В противном случае могут произойти следующие события: поступающий сигнал мгновенно перемещает положительную заявку типа c из системы i -й СМО в j -ю СМО как заявку типа s с вероятностью q_{icjs} , в этом случае сигнал называют триггером; или с вероятностью $q_{ic0} = 1 - \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^r q_{icjs}$ сигнал срабатывает как отрицательная заявка и уничтожает в i -й СМО положительную заявку типа c . После окончания обслуживания положительной заявки типа c в i -й СМО она направляется в j -ю СМО с вероятностью p_{icjs}^+ опять как положительная заявка типа s , а с вероятностью p_{icjs}^- как отрицательная заявка типа s , и с вероятностью $p_{ic0} = 1 - \sum_{j=1}^n (p_{icjs}^+ + p_{icjs}^-)$ уходит из сети, $i, j = \overline{1, n}$.

Под состоянием i -й СМО в момент времени t будем понимать вектор $\vec{k}_i(t) = (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{ir}, t)$, где k_{ic} – число положительных заявок типа c в i -той СМО, а под состоянием сети $\vec{k}(t) = (\vec{k}, t) = (\vec{k}_1(t), \dots, \vec{k}_n(t))$, который образует цепь Маркова со счётным числом состояний и непрерывным временем. Вероятности состояний сети в переходном режиме находятся методом последовательных приближений, совмещённым с методом рядов.

Введём в рассмотрение вектор I_{ic} , состоящий из нулей, за исключением компоненты с номером $2r(i-1) + c$, которая равна единице; $\vec{V}^T(\vec{k}, t) = (v_1(\vec{k}, t), v_2(\vec{k}, t), \dots, v_n(\vec{k}, t))$, где $v_i(\vec{k}, t)$ – ожидаемый доход, который получает i -я СМО за время t , если в начальный момент времени сеть находится в состоянии \vec{k} ; $\vec{V}_q(\vec{k}, t)$ – приближение $\vec{V}(\vec{k}, t)$ на q -й итерации. Можно показать, что эти приближения представимы в виде

$$\vec{V}_{q+1}(\vec{k}, t) = e^{-\Delta^{(o)}(\vec{k})t} \left(\vec{V}(\vec{k}, 0) + \int_0^t e^{\Delta^{(o)}(\vec{k})x} \left\{ \sum_{i,j,m=0}^n \sum_{c,s,l=1}^n \Theta_{icjs}^{(o)}(\vec{k}) \vec{V}_q(\vec{k} + I_{ic} - I_{js}, x) + \Phi_{icjs}^{(o)}(\vec{k}) \vec{V}_q(\vec{k} + I_{ic} + I_{js}, x) dx + \right. \right. \\ \left. \left. 1 + \Phi_{icjsml}^{(o)}(\vec{k}) \vec{V}_q(\vec{k} + I_{ic} + I_{js} - I_{ml}, x) \right\} dx + \frac{\bar{E}(\vec{k})}{\Delta^{(o)}(\vec{k})} [1 - e^{-\Delta^{(o)}(\vec{k})t}] \right), \quad (1)$$

где $\Delta^{(o)}(\vec{k})$, $\Theta_{icjs}^{(o)}(\vec{k})$, $\Phi_{icjs}^{(o)}(\vec{k})$, $\Phi_{icjsml}^{(o)}(\vec{k})$, $\bar{E}(\vec{k})$ – некоторые найденные неотрицательные функции. Для последовательных приближений справедливы утверждения, доказываемые аналогично как в статье [1].

Литература

1. *Matalytski M., Kopats D.* Finding expected revenues in G-network with signals and customers batch removal // Probability in the Engineering and Informational Sciences. 2017. Vol. 31, № 4. P. 561–575.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВХОДНОГО ПОТОКА НА МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

И.А. Корелин, С.В. Поринев

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
korelin.ivan@gmail.com

В настоящее время для обеспечения доступа посетителей на объекты проведения массовых мероприятий широко используются контрольно-пропускные системы (КПС) [4]. В связи с тем, что интенсивности потоков посетителей, проходящих через КПС изменяются во времени, можно рассматривать КПС как нестационарную систему массового обслуживания (НСМО). (Напомним, что НСМО отличаются от стационарных систем массового обслуживания тем, что интенсивность поступления заявок на вход НСМО λ и интенсивность их обслуживания μ изменяются во времени, в том числе и случайно.) Изучение особенностей функционирования данных систем представляет несомненный интерес с практической точки зрения [1,2], поскольку полученные при этом результаты могут быть использованы для научного обоснования принимаемых конструкторских решений на этапе проектирования и модернизации нестационарных систем массового обслуживания (НСМО), а также объективного оценивания особенностей функционирования данных систем при возникновении на объект проведения массовых мероприятий нештатных ситуаций (террористический акт, пожар и т.д.).

Результаты моделирования НСМО на вход, которой поступает поток заявок с интенсивностью $\lambda = \lambda(t)$, изменяющейся во времени, аналогично функции, аппроксимирующей зависимость $\lambda = \lambda(t)$, зафиксированную во время проведения футбольных матчей, описаны в [3]. Здесь был вычислен ряд характеристик НСМО, в том числе зависимости длины очереди, длительности нахождения в очереди на обслуживание, количества вошедших посетителей от времени (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что для каждой из зависимостей можно указать характерные точки, представляющие интерес для инженеров, проектировщиков, служб безопасности объектов проведения массовых мероприятий: число вошедших посетителей к моменту начала мероприятия, максимальная длина очереди посетителей перед КПС, максимальное время ожидания в очереди и соответствующие им моменты времени (макроскопические характеристики КПС). Принимая во внимание, что зависимости $\lambda = \lambda(t)$, зафиксированные во время проведения футбольных матчей, содержат как детерминированную, так и

случайную составляющие, априори, можно ожидать, что последняя будет оказывать влияние на перечисленные выше макроэкономические характеристики.

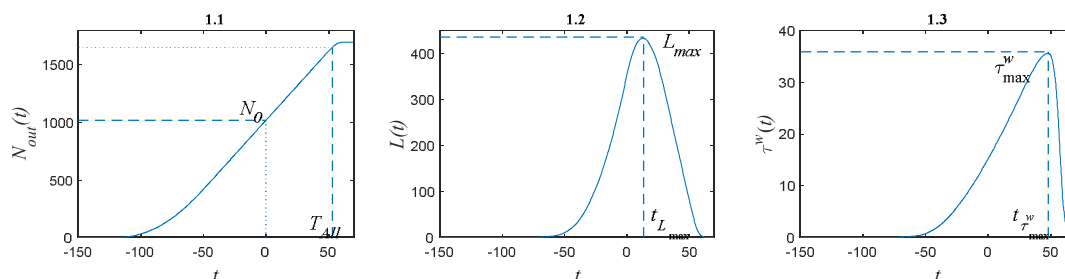


Рис. 1. Зависимости: 1. числа вошедших посетителей от времени $N_{out}(t)$; 2. длины очереди от времени $L(t)$; 3. длительности ожидания обслуживания от времени $\tau^w(t)$

В этой связи были проведены целенаправленные исследования данного вопроса, в которых характеристики случайной составляющей интенсивности входного потока посетителей выбирались на основе анализа статистической информации, собранной во время проведения футбольного матча между футбольными клубами «Крылья советов» и «Динамо» на стадионе «Металлург» г. Самара. Результаты проведенного статистического моделирования показали, что в изученном диапазоне вариаций интенсивности входного потока посетителей, данная составляющая не оказывает существенного влияния на выбранные макроэкономические показатели НСМО.

Литература

1. Clarke A.B. A Waiting Line Process of Markov Type // Ann. Math. Statist. 1956. № 27. P. 452–459.
2. Koopman B.O. Air-Terminal Queues under Time-Dependent Conditions // Operation research. 1972. № 20. P. 1089–1114.
3. Поршнев С.В., Корелин И.А. Исследование особенностей нестационарной одноканальной системы массового обслуживания в разрезе числа обслуженных заявок // Cloud of Science. 2017. Т. 4, № 3. С. 366–375.
4. Поршнев С.В., Якоб Д.А. Исследование особенностей функционирования информационных контрольно-пропускных систем объектов проведения массовых мероприятий. Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2014. 216 с.

ОЦЕНИВАНИЕ НЕТТО-ПРЕМИЙ И ПЕНСИОННЫХ РЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ*

Ю.Г. Дмитриев, Г.М. Кошкин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru

Эффективность финансовой деятельности страховой компании зависит от правильного расчета нетто-премии для различных видов страхования необходимых категорий и возрастных групп населения [1]. В долгосрочном страховании жизни при расчетах премий за риск учитывается динамика ценности денег, основанная на процентной ставке δ с непрерывно начисляемым процентом по вкладу [2–6]. В этом случае для выработки управляющих решений страховой фирме следует предварительно оценить нетто-премию, которая гарантирует фирме средний нулевой доход.

Пусть случайная величина X – продолжительность жизни, x – возраст индивидуума в момент заключения договора, $T(x) = X - x$ – остаточное время жизни этого индивидуума. В актуарной математике размер страхового пособия принимают в качестве единицы измерения денежных сумм, поэтому нетто-премия при полном страховании жизни равна математическому ожиданию $E\{e^{-\delta T(x)}\}$ и обозначается

$$\bar{A}_x = \frac{1}{1 - F(x)} \int_0^{\infty} e^{-\delta t} dF(x+t), \text{ где } F(x) \text{ – функция распределения случайной величины } X.$$

Известно, что расчет характеристик пенсионных рент основан на использовании характеристик соответствующего вида страхования [7-9]. Так, среднее значение актуарной современной стоимости пожизненной ренты определяется формулой $\bar{a}_x(\delta) = (1 - \bar{A}_x) / \delta$.

* Работа написана в рамках научного проекта (№ 8.1.37.2018), выполненного при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

В работе рассматривается задача оценивания по случайной выборке X_1, \dots, X_n нетто-премий и рент, задаваемых приведенными выше формулами, с использованием априорной информации. Например, часто нам может быть известно среднее время жизни EX или остаточное время жизни $ET(x)$. Синтез оценок, учитывающих такую априорную информацию, проводится по методике, приведенной в [10,11].

Доказаны асимптотические свойства предложенных оценок: несмещенность, состоятельность и нормальность. Результаты статистического моделирования (при объеме выборки, равном 210) показали, что точность оценивания с учетом информации об остаточном времени жизни увеличивается в 2,5 раза по сравнению с обычной оценкой, и вдвое – по сравнению с оценкой, использующей информацию о среднем времени жизни

Литература

1. Bowers N.L., Gerber H.U., Hickman J.C., Jones D. Actuarial Mathematics. Itasca, Illinois: The Society of Actuaries, 1986. 624 p.
2. Фалин Г.И., Фалин А.И. Введение в актуарную математику. М. : МГУ, 1994. 86 с.
3. Кошкин Г.М. Введение в математику страхования жизни. Томск : ТГУ, 2004. 112 с.
4. Кошкин Г.М., Лопухин Я.Н. Оценивание нетто-премий в моделях долгосрочного страхования жизни // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2003. Т. 10, вып. 2. С. 315–329.
5. Koshkin G.M., Lopukhin Ya.N. Estimation of Net Premiums in Collective Models of Life Insurance // Proc. of the 11th Annual Intern. AFIR Colloquium. Vol. 2. Toronto, Ontario Canada: 2001. P. 447–457.
6. Lopukhin Ya.N., Koshkin G.M. On estimation of net premium in collective life insurance // The 5th Korea-Russian International Symposium on Science and Technology. Proceedings. Vol. 2. Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2001. P. 296–299.
7. Губина О.В., Кошкин Г.М. Оценивание актуарной современной стоимости полной непрерывной пожизненной ренты // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 1 (30). С. 38–43.
8. Губина О.В., Кошкин Г.М. Оценивание современной стоимости непрерывной n-летней временной пожизненной ренты // Изв. вузов. Физика. 2015. Т. 58, № 11/2. С. 235–241.
9. Koshkin G.M., Gubina O.V. Estimation of the Present Values of Life Annuities for the Different Actuarial Models // Proceedings. The Second International Symposium on Stochastic Models, in Reliability Engineering, Life Science, and Operations Management. – Beer Sheva, Israel. Conference Publishing Services The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2016. P. 506–510.
10. Дмитриев Ю.Г., Устинов Ю.К. Статистическое оценивание распределений вероятностей с использованием дополнительной информации. Томск : ТГУ, 1988. 112 с.
11. Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M. On Distribution Functionals Estimation with Auxiliary Information // Applied Methods of Statistical Analysis. Nonparametric Methods in Cybernetics and System Analysis. Krasnoyarsk, Russia. Proceedings of the International Workshop. Novosibirsk : NSTU publisher, 2017. P. 9–18.

ОБ УСЛОВНОЙ ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛА ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ*

Ю.Г. Дмитриев, Г.М. Кошкин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru

В [1] рассматривалась задача оценивания функционала

$$\theta = \theta(H) = \int \varphi(\vec{x}_s) dH(\vec{x}_s) = \int \dots \int \varphi(x_1, \dots, x_s) dF(x_1) \dots dF(x_s) \quad (1)$$

по выборке X_1, \dots, X_N из $F(x)$, $x \in R^1$, $\varphi: R^s \rightarrow R^1$, $H(\vec{x}_s) = \prod_{r=1}^s F(x_r)$ при условии, что для m других функционалов $b_j = b_j(H) = \int \psi_j(\vec{x}_s) dH(\vec{x}_s)$, $\psi_j: R^s \rightarrow R^1$, $j = 1, \dots, m$, выполняются равенства

$$\Delta_j(H) = \prod_{t=1}^{k_j} \left(\int \psi_j(\vec{x}_s) dH(\vec{x}_s) - \beta_{j,t} \right) = 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где $\beta_{j,t}$, $t = 1, \dots, k_j \geq 1$ возможные значения функционала $b_j(H)$. Далее предполагается, что функции φ, ψ_j симметричны относительно перестановок своих аргументов. Использование U – статистик при оценивании (1) с учетом (2) приводит к чрезвычайно трудоемким вычислениям [1]. Здесь предлагается оценка с меньшим числом вычислительных операций, что позволяет применять ее на практике.

Обозначим $Z_i = (X_{(i-1)s+1}, \dots, X_{is})$, $i = 1, \dots, n$, $n = [N/s]$ – целая часть. Каждое Z_i имеет функцию распределения $H(\vec{x}_s)$. Рассмотрим оценку

* Работа написана в рамках научного проекта (№ 8.1.37.2018), выполненного при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

$$\tilde{\theta} = \hat{\theta} - \hat{\lambda} \hat{\Delta}^T, \quad (3)$$

где $\hat{\theta} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \varphi(Z_i)$, $\hat{\Delta} = (\hat{\Delta}_1, \dots, \hat{\Delta}_m)^T$, $\hat{\Delta}_j = n^{-1} \sum_{i=1}^n \psi_j(Z_i)$, $\hat{\lambda} = \hat{V}^{-1} \hat{C}^T$, \hat{V}^{-1} – матрица, обратная к $\hat{V} = \left\| \hat{\Delta}_j \hat{\Delta}_l \right\|_{j,l=1,m}$, $\hat{C} = \left\| \hat{c}_j \right\|_{j=1,m}$, $\hat{c}_j = n^{-1} \sum_{i=1}^n \varphi(Z_i) \psi_j(Z_i) - \hat{\theta} \hat{\Delta}_j$. Заметим, что общая идеология статистического оценивания распределений вероятностей с использованием априорной информации, приводящая к оценкам типа (3), рассматривалась в [2].

Теорема. Пусть $E_H \varphi^2(Z_1) < \infty$, $E_H \psi_j^4(Z_1) < \infty$, $j = 1, \dots, m$, $\det V \neq 0$. Тогда при $N \rightarrow \infty$

$$L(\sqrt{N}(\tilde{\theta} - \theta)) \rightarrow N(0, s\sigma^2),$$

где

$$\sigma^2 = D_H \varphi(Z_1) - \bar{C}^T \bar{V}^{-1} \bar{C} > 0, \quad \bar{C} = \left\| \text{cov}_H(\varphi(Z_1), \psi_j(Z_1)) \right\|_{j=1,m},$$

$$\bar{V} = \left\| \text{cov}_H(\psi_j(Z_1), \psi_l(Z_1)) \right\|_{j,l=1,m}.$$

В работе также доказана сходимость в среднеквадратическом предложенных оценок с использованием методов и результатов из [3-5].

Литература

1. Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M. On Distribution Functionals Estimation with Auxiliary Information // Applied Methods of Statistical Analysis. Nonparametric Methods in Cybernetics and System Analysis. Krasnoyarsk, Russia Proceedings of the International Workshop. Novosibirsk : NSTU publisher, 2017. P. 9–18.
2. Дмитриев Ю.Г., Устинов Ю.К. Статистическое оценивание распределений вероятностей с использованием дополнительной информации. Томск : ТГУ, 1988. 112 с.
3. Dobrovidov A.V., Koshkin G.M., Vasiliev V.A. Non-parametric State Space Models. Heber City, UT 84032, USA : Kendrick Press, 2012. 501 p.
4. Koshkin G.M. Stable Estimation of Ratios of Random Functions from Experimental Data // Russian Physics Journal. 1993. Vol. 36. P. 1008–1015.
5. Koshkin G.M. Deviation Moments of the Substitution Estimator and of its Piecewise-Smooth Approximations // Siberian Mathematical Journal. 1999. Vol. 40. P. 515–527.

IDENTIFICATION AND PREDICTION FOR COMPOUND MODELS*

Yu.G. Dmitriev, G.M. Koshkin, V.Yu. Lukov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru, lukov_vadim@rambler.ru

In many applied problems, it is required to construct a mathematical model of the dependence of output variables on input variables of the stochastic object. To solve this problem, both parametric and nonparametric approaches are used. Each of these approaches has advantages and disadvantages. In the paper, we consider combined algorithms for the identification of stochastic objects using jointly nonparametric and parametric estimators of regression.

Suppose that a stochastic object is described by a regression function $r(\bar{x}) = E(Y | \bar{X} = \bar{x}) = \int y \cdot p(y | \bar{x}) dy = \frac{\int y \cdot p(x, y) dy}{p(x)}$, where $(\bar{X}, Y) = (X^{(1)}, \dots, X^{(p)}, Y)$ is a $(p+1)$ -dimensional vector of p object's inputs and output [1-5].

Usually the researcher has some information about the nature of the dependence of the output of the object from the inputs. Suppose that he can express this knowledge in the form of a given function $\varphi(\bar{x}, \bar{\theta})$, where

$\bar{\theta} = (\theta^{(1)}, \dots, \theta^{(s)})$ is the vector of the known or unknown parameters. This type of information we call as a prior guess.

In this paper, we consider the task of sharing the nonparametric estimation of regression and a prior guess. The approach using combinations of different estimators was studied, for example, in [6-10].

* This research was supported by “The Tomsk State University competitiveness improvement programme” under grant No 8.1.37.2018.

Let there be independent observations $(\bar{X}_i, Y_i) = (X_i^{(1)}, \dots, X_i^{(p)}, Y_i)$, $i = 1, \dots, n$ of the random vector (\bar{X}, Y) . As a combined regression estimator, we take $\hat{R}_\lambda(\bar{X}_i) = (1-\lambda) \cdot \hat{r}(\bar{X}_i) + \lambda \cdot \varphi(\bar{X}_i, \bar{\theta})$, where λ is the weight coefficient determined from the minimum of the criterion $\sum_{i=1}^N \{ \hat{R}_\lambda(\bar{X}_i) - r(\bar{X}_i) \}^2$ [6].

Adaptive combined estimators constructed on the basis of algorithms for predicting static and dynamic objects are proposed. The expediency of applying the proposed approach in practice is illustrated in the analysis of the prices of Gazprom's stocks for 2016.

References

1. Kitaeva A.V., Koshkin G.M. Recurrent Nonparametric Estimation of Functions from Multidimensional Functional Density and their Derivatives // Automat. and Remote Control. 2009. Vol. 70, № 3. P. 389–407.
2. Koshkin G.M., Lukov V.Yu., Piven I.G. Nonparametric Algorithms of Identification and Prediction in the ARX-Models // Proceedings. The Second International Symposium on Stochastic Models, in Reliability Engineering, Life Science, and Operations Management. Beer Sheva, Israel. Conference Publishing Services The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2016. P. 620–623.
3. Koshkin G.M., Tarasenko F.P. Nonparametric Algorithms for Identifying and Control of Continuous-discrete Stochastic Objects // 8-th IFAC-IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation. Beijing. Pergamon Press, 1988. № 2. P. 882–887.
4. Vasiliev V.A., Koshkin G.M. Nonparametric Identification of Autoregressions // Theory Probab. Appl. 1998. Vol. 43, № 3. P. 507–517
5. Nadaraya E. On Estimating of Regression // Theory Probab. Appl. 1964. Vol. 9, № 1. P. 141–142.
6. Skripin S.V. Properties of a Combined Regression Estimate for Finite Sample Sizes // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2008. Vol. 313, № 5. P. 10–14.
7. Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M. On the Use of a Priori Information in Nonparametric Regression Estimation // IFAC Proceedings Series. 1987. Vol. 2. P. 223–228.
8. Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M. Using Additional Information in Nonparametric Estimation of Density Functionals // Automat. and Remote Control. 1987. Vol. 48, № 10. P. 1307–1316.
9. Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M., Lukov V.Yu. Combined Identification Algorithms // Applied Methods of Statistical Analysis. Nonparametric Methods in Cybernetics and System Analysis. Krasnoyarsk, Russia. Proceedings of the International Workshop. Novosibirsk : NSTU publisher, 2017. P. 19–27.
10. Dmitriev Yu.G., Skripin S.V. On the Combined Estimate of the Probability of Failure-free Operation for a Full Sample // Journal of Control and Computer Science. Tomsk State University. 2012. Vol. 4, № 21. P. 32–38.

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕБЫВАНИЯ МАСШТАБИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ГРУППОВОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ*

В.А. Павский¹, К.В. Павский²

¹Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
²Института физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
pavva46@mail.ru, pkv@isp.nsc.ru

Современные распределенные вычислительные системы (ВС) относят к высокопроизводительным вычислительным средствам [1]. Количество элементарных машин (ЭМ) [1] в таких системах измеряется десятками и сотнями тысяч. Увеличение количества ЭМ в ВС сопровождается увеличением числа отказов [2]. Практика показывает, что в масштабируемых вычислительных системах время между различными видами отказов может измеряться часами [3]. Поэтому актуальным становится как организация отказоустойчивого функционирования, так и анализ эффективной работы ВС с учетом ее живучести.

Рассматривается стохастическая модель функционирования распределенной масштабируемой вычислительной системы (ВС) с резервом, в которой элементарные машины (ЭМ) не абсолютно надежные [1]. При отказе одной из N ЭМ, принадлежащей основной подсистеме, происходит замена на одну из n ЭМ резерва, а отказавшая ждет восстановления. В случайные моменты времени восстанавливающее устройство начинает восстановление отказавших ЭМ группами по r машин (рис.1).

Пока множество ЭМ, составляющих резерв, непустое, считаем, что ВС имеет высокую производительность, иначе она переходит в состояние низкой производительности с сохранением работоспособности других функций ВС. Разумно считать, что системы такого масштаба не должны отказывать.

* Работа выполнена в рамках проекта ГЗ 0306-2018-0012 и при поддержке РФФИ (грант № 16-07-00712).

Эту дополнительную информацию можно использовать при анализе времени нахождения ВС в состоянии высокой производительности и, не усложняя модели, выработать рекомендации для повышения эффективности работы ВС.

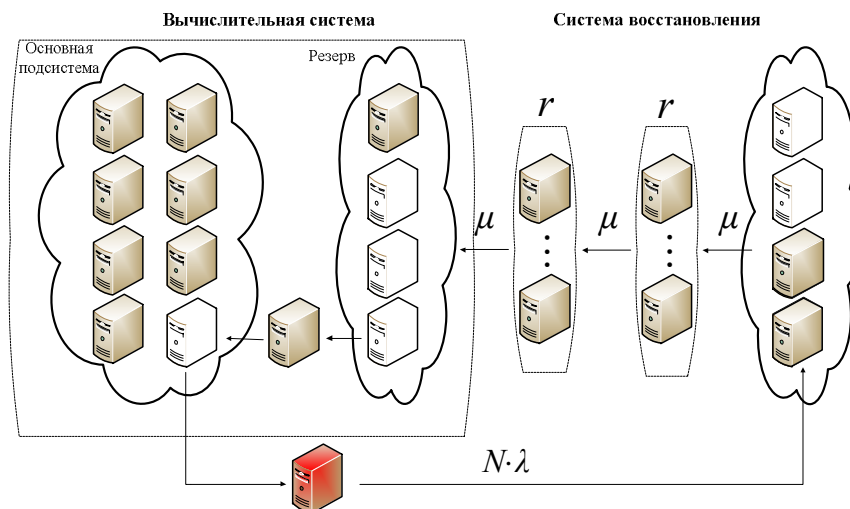


Рис. 1. Модель функционирования ВС с резервом при групповом восстановлении отказавших машин

В работе предлагается аналитическое решение для нахождения функции распределения времени пребывания вычислительной системы в состоянии низкой производительности.

Литература

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. М. : МГТУ им. Баумана, 2008. 520 с.
2. Schroeder B., Gibson G. A large-scale study of failures in high-performance computing systems // Dependable Systems and Networks (DSN2006): proceedings of the International Conference. USA: Philadelphia, PA, 2006. P. 10.
3. Nikolic S. High Performance Computing Directions: The Drive to ExaScale Computing // Труды международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2012)". Новосибирск, 2012. URL: <http://pavt.susu.ru/2012/talks/Nikolic.pdf> (дата обращения: 11.01.2018).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИИ МАКСИМАЛЬНОЙ ЦЕНЫ АКЦИИ

Ю.Г. Дмитриев, Ю.Е. Пальянова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
pje0360@gmail.com

Пусть имеется N временных периодов с одинаковым количеством n дней. Наблюдается максимальное значение цены акции в каждый из n дней. Максимальные цены между днями будем считать независимыми и одинаково распределенными случайными величинами с функцией распределения $F(x)$. Обозначим максимальную цену акции за n дней в k -м периоде через $X_k^{(n)}$ и рассмотрим последовательность $X_1^{(n)}, \dots, X_N^{(n)}$, отвечающую N периодам. При этом функция распределения $G_{(n)}(x) = P\{X_k^{(n)} < x\} = F^n(x)$. Задача заключается в прогнозировании тенденции (увеличении или уменьшении) максимальной цены акции в $N+1$ периоде по сравнению с предыдущим.

Выберем в качестве $F(x)$ двойной экспоненциальный закон $F(x; \mu, \sigma) = \exp\{-\exp\{-(x - \mu)/\sigma\}\}$, $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$, предложенный в [1] для описания максимальных значений наблюдаемой величины. Упорядочим наблюдения по возрастанию: $X_{(1)}^{(n)} < X_{(2)}^{(n)} < \dots < X_{(N)}^{(n)}$. Порядковые статистики $X_{(k)}^{(n)}$ можно рассматривать как оценки квантилей закона распределения $G_{(n)}(x)$ уровней $p_k = k/(N+1)$, $k = \overline{1, N}$. На основании этого, следуя [2], можно записать, $F_0^n\left(\frac{X_{(k)}^{(n)} - \mu}{\sigma}\right) = p_k + \varepsilon_{(k)}$, где $\varepsilon_{(k)} = u_{(k)} - p_k$, $u_{(k)}$, k -я порядковая статистика выборки из равномерного в $(0,1)$ закона. Отсюда

$$X_{(k)}^{(n)} \approx \mu + \sigma \cdot Y_{(k)}^{(n)} + \varepsilon_{(k)}, k = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где $Y_{(k)}^{(n)} = F_0^{-1}(p_k^{1/n}) = (-\ln(-n^{-1} \ln(p_k)))$, $k = \overline{1, N}$, $F_0(x) = F(x; 0, 1)$ с $M\varepsilon_{(k)} = 0$ и матрицей ковариации $\|M\varepsilon_{(k)}\varepsilon_{(j)}\| = V$ для порядковых статистик из равномерного закона в $(0, 1)$. Модель (1) отражает линейную регрессионную зависимость значений максимальных цен акций от квантилей закона распределения $F_0(x)$. Параметры μ и σ находятся по обобщенному методу наименьших квадратов (ОМНК) [2].

Прогнозирование тенденции максимальной цены акции в $N + 1$ периоде предлагается проводить следующим образом [3]. Пусть известны максимальные значения цен акций за N периодов, и вычислены квантили $Y_{(1)}^{(n)} < \dots < Y_{(N+1)}^{(n)}$ за $N + 1$ периодов. Поставим в соответствие N упорядоченным значениям цен $X_{(k)}^{(n)}$ N квантилей $Y_{(k)}^{(n)}$ из $N + 1$ возможных. Наилучшим будем считать такое соответствие, при котором погрешность $SKO = \sqrt{\sum_{k=1}^N (X_{(k)}^{(n)} - \hat{X}_{(k)}^{(n)})^2}$ (где $\hat{X}_{(k)}^{(n)} \approx \hat{\mu} + \hat{\sigma} \cdot Y_{(k)}^{(n)} + \varepsilon_{(k)}$, $k = \overline{1, N}$) будет наименьшей по всем возможным переборам соответствий с учетом порядка, а также $\hat{\mu}$ и $\hat{\sigma}$, вычисляемых по ОМНК для каждого соответствия. Когда такое соответствие найдено, то становится известен «свободный» квантиль $Y_{(k)}^{(n)}$, которому соответствия не нашлось. Подставляя этот квантиль в оцененное уравнение регрессии при наилучшем соответствии, находим прогнозное значение неизвестной цены акции на $N + 1$ период и, соответственно, тенденцию цены.

Метод прогноза был апробирован по реальным данным цен акций ПАО «Газпром».

Литература

1. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. 512 с.
2. Введение в теорию порядковых статистик: пер. с англ. / под ред. А.Я. Боярского. М.: Статистика, 1970. 413 с.
3. Дмитриев Ю.Г., Устинов Ю.К. Математические модели растущих систем // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12, № 1. С. 68–75.

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НАД ЭМПИРИЧЕСКИМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ

О.А. Попова, Б.С. Добронец, А.А. Жмурова

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
OlgaArc@yandex.ru

Регрессионный анализ данных в настоящее время является областью активных исследований, как в общем теоретическом плане, так применительно к различным областям его практического применения.

Проблема повышения точности результатов численного моделирования, снижения уровня неопределенности с учетом всех особенностей эмпирической информации является актуальной задачей и занимает важное место, в том числе, и для повышения уровня доверия лица принимающего решения к результатам моделирования. Многие исследователи отмечают важность и необходимость анализа эмпирической информации уже на этапе предобработки данных. Обоснованно подобранные модели представления данных на этапе предобработки позволяют определить вид входных переменных и осуществить выбор соответствующих процедур и арифметик для последующего моделирования в соответствии с видом неопределенности и объемом имеющейся информации.

Идея, преобразования эмпирических данных на основе применения математических моделей на этапе представления данных и последующего их использования в виде входных и выходных факторов для моделирования способствовало появлению особого вида переменных. Например, использование гистограммных моделей данных в виде входных переменных для регрессионного моделирования способствовало появлению нового понятия гистограммно-значные переменные, которые представляют собой особый вид переменных, где каждому такому объекту (признаку) соответствует распределение, которое может быть представлено в виде гистограммы. Такие переменные изучаются, например, в символьном анализе [2].

В последнее время наблюдается растущий интерес к моделированию и анализу интервально-значных и гистограммно-значных переменных [2, 3]. Однако анализ публикаций по данной теме исследований показал, что существующие методы и подходы к регрессионному моделированию на гистограммно-значных переменных встречают ряд трудностей [3]. Например, для линейных моделей регрессии для этого типа данных отмечается, что ее параметры не могут быть отрицательными. Для определения параметров этой модели, необходимо решить квадратичную задачу оптимизации, при условии неотрицательности ограничений на

неизвестных. Определенную проблему составляет задача выбора и вычисления меры погрешности между предсказанными и наблюдаемыми распределениями.

В статье для описания случайной неопределенности во входных и выходных переменных на этапе преобразования данных предлагается использовать ФПВ – значные переменные, которые представляют собой математические модели функций плотности вероятности соответствующих переменных, построенные по эмпирическим данным в классе кусочно-полиномиальных моделей. Для вычисления неизвестных параметров модели предлагается использовать численный вероятностный анализ, в котором имеются соответствующие арифметики и процедуры.

В рамках применения данного подхода рассматриваются новые подходы моделирования функциональных зависимостей на основе сплайн аппроксимаций [6]. Для исследования точности вычислений используется метод построения апостериорных оценок [4, 7].

Численная реализация модельных примеров регрессивного моделирования показала хорошую сходимость предложенного подхода. Использование регрессионного моделирования на основе кусочно-полиномиальных моделей открывает новые возможности в прогнозировании состояний сложных систем, дистанционного зондирования Земли, оценок надежности ответственного оборудования, оценки гидрологических, инвестиционных рисков [5].

Литература

1. Добронетц Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ неопределённых данных. Красноярск : Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. 2014. 168 с.
2. Billard L., Diday E. Symbolic Data Analysis: Conceptual Statistics and Data Mining. Wiley, 2004.
3. Dias B. Linear regression with empirical distributions. Ph.D thesis. Universidade do Porto, Portugal. 2014.
4. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Journal of Siberian Federal University Mathematics and Physics. 2017. № 10 (1). P. 16–21.
5. Dobronets B.S., Popova O.A. The numerical probabilistic approach to the processing and presentation of remote monitoring data // Journal of Siberian Federal University – Engineering and Technologies. 2016. № 9 (7). P. 960–971.
6. Попова О.А. Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22, № 2. С. 99–114.
7. Попова О.А. Информационный подход к апостериорным оценкам погрешности численного моделирования // Информатизация и связь. 2016. № 2. С. 40–43.

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОТОКОЛА С ПРЯМОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ОШИБОК ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО РЕЖИМА ОТКАЗА

П.В. Приступа, С.П. Сущенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
pristupa@gmail.com

Современный уровень информационного взаимодействия диктует высокие требования к инфраструктуре вычислительных сетей. Значительное влияние на выбор способа организации информационного взаимодействия оказывает результирующая пропускная способность транспортного соединения. В системах с решающей обратной связью наличие помех в канале передачи данных порождает необходимость повторной передачи, что отрицательно сказывается на пропускной способности. Для снижения вероятности повторной передачи широко используется блочная передача, в рамках которой информация передается блоками из B сегментов, A из которых являются информационными, а $(B - A)$ сегментов – избыточными, что позволяет использовать метод прямой коррекции ошибок в узле-получателе. Предложена модель виртуального соединения, управляемого транспортным протоколом с селективным режимом отказа, в виде цепи Маркова с дискретным временем, которая учитывает основные протокольные параметры: длительность круговой задержки D , тайм-аут ожидания подтверждения S , выраженную в количестве блоков ширину окна ω , уровни ошибок в звеньях прямого (R_d) и обратного (R_r) трактов передачи данных, а также параметры блочной передачи A и B .

Вероятности ошибок в отдельных звеньях прямого и обратного трактов формируют общую достоверность успешной передачи сегмента в прямом и обратном тракте:

$$F_d = \prod_{z=1}^{D_d} (1 - R_d(z)); F_r = \prod_{z=1}^{D_r} (1 - R_r(z))$$

Тайм-аут ожидания подтверждения S выражен в количестве тактов длительности t . Время между получениями двух последовательных сквозных квитанций распределено по геометрическому закону с параметром F_r . Предполагается, что отправитель передает информацию блоками из B сегментов, а получатель отправляет квитанции об успешной доставке блоков в каждом сегменте встречного потока. Для описания

процесса передачи используется цепь Маркова, где номера состояний от 0 до ωB соответствуют количеству переданных, но не подтвержденных сегментов, а в состояниях с номерами от $\omega B + 1$ до $S - 1$ отправитель приостанавливает передачу и ожидает квитанцию. Если квитанции продолжают искажаться, то по истечении тайм-аута система безусловно переходит из состояния $S - 1$ в нулевое состояние.

Тайм-аут ожидания подтверждения S естественным образом связан с длительностью круговой задержки D , шириной окна ω и размером блока B следующими соотношениями: $S \geq \omega B + 1$; $S \geq D + B - 1$

Для случая, когда помимо указанных соотношений тайм-аут ожидания подтверждения связан также и соотношением $S \geq D + (\omega + 1)B - 2$, для описанной модели произведен расчет пропускной способности.

Для случая $D \leq (\omega - 1)B + 1$ пропускная способность описывается соотношением:

$$Z_S = \frac{A(1-\bar{F}_r^B)[1-\bar{F}_r^{\omega B} - \omega\bar{F}_r^{S-D-B+2}(1-\bar{F}_r^{D+B})]\sum_{i=A}^B C_B^i \bar{F}_d^i \bar{F}_r^{B-i}}{B[B\bar{F}_r(1-\bar{F}_r^{\omega B}) + (1-\bar{F}_r^B)(\bar{F}_r^{(\omega-1)B-D+2} - (D-KB-2)\bar{F}_r^{-(\omega-K-1)B} - \bar{F}_r^{S-D-B+2})]},$$

а для $D > (\omega - 1)B + 1$ описывается соотношением:

$$Z_S = \frac{A(1-\bar{F}_r^B)[\bar{F}_r(1-\bar{F}_r^{\omega B}) - \omega\bar{F}_r\bar{F}_r^{S-D-B+2}(1-\bar{F}_r^B)]\sum_{i=A}^B C_B^i \bar{F}_d^i \bar{F}_r^{B-i}}{B\bar{F}_r[B\bar{F}_r(1-\bar{F}_r^{\omega B}) + (1-\bar{F}_r^B)(1+(D-(\omega-1)B-2)\bar{F}_r - \bar{F}_r^{S-B-D+2})]},$$

где $\bar{F}_d = 1 - F_d$; $\bar{F}_r = 1 - F_r$; $K = \lfloor \frac{D-2}{B} \rfloor$

Литература

1. Stevens R. TCP/IP Illustrated. Massachusetts Harlow : Addison Wesley Longman, 2002. 569 p.
2. Кокишев В.В., Михеев П.А., Сущенко С.П. Анализ селективного режима отказа транспортного протокола в нагруженном тракте передачи данных // Вестник Томского государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2013. № 3 (24). С. 78–94.
3. Сущенко С.П., Математические модели компьютерных сетей. Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 46–55.

УПРАВЛЕНИЕ ПОСТАВКАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СКИДОК

Г.Н. Решетникова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tomrgn@ngs.ru

В настоящее время все большее количество фирм прибегает к использованию скидок [1]. Скидка – это сумма, на которую предприниматель снижает цену реализации товара с целью расширения рынка сбыта и увеличения объемов продаж. Существуют различные типы скидок: на один день, по дням недели, на любой срок, сезонные и т.д. Скидки могут устанавливаться различными способами: через постоянные промежутки времени и автоматически, при выполнении некоторых критериев.

При использовании информационных технологий на рынке товаров и услуг возникает необходимость в построении математических моделей экономических процессов. Для управления поставками достаточно хорошие результаты получаются при использовании нелинейной динамической модели вида [2]

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= k_3 u(t) - k_4 s(t) z(t) - k_1 z(t), \quad z(t_0) = z_0, \\ \dot{v}(t) &= k_4 s(t) z(t) - k_2 v(t), \quad v(t_0) = v_0, \\ \dot{w}(t) &= k_4 s(t) z(t) - u(t) - k_5 z(t), \quad w(t_0) = w_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $z(t), v(t), w(t), s(t)$ – функции, которые описывают объемы товара на складе торговой фирмы, у потребителя, доход и текущий спрос в ценах реализации, а $u(t)$ – объем поставок в закупочных ценах. Коэффициенты $k_j, j = \overline{1,5}$, задают скорость порчи товара, скорость потребления, торговую наценку, скорость продаж и плату за хранение.

В модели (1) введение скидок приводит к изменениям значений коэффициентов k_2, k_3, k_4 . Пусть p_r – процент снижения торговой наценки при использовании скидок. Тогда коэффициент, задающий торговую наценку, будет определяться следующим образом:

$$k_3^* = k_3(1 - p_r).$$

Снижение торговой наценки приводит к увеличению скорости продажи и потребления. Будем предполагать, что увеличение скорости продажи и потребления осуществляется пропорционально снижению торговой наценки, т.е.

$$k_4^* = k_4(1 + p_r), \quad k_2^* = k_2(1 + p_r).$$

Для использования методов автоматического управления представим (1) системой линейных дифференциальных стохастических уравнений

$$\dot{x}(t) = \bar{A}(t, K_2, K_3, K_4)x(t) + \bar{B}(t, K_2, K_3, K_4)u(t) + \bar{F}(t)q(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad (2)$$

где $x(t) = (z(t), v(t), w(t))^T$ – вектор состояния, $u(t)$ – вектор управления, $q(t)$ – вектор, описывающий действия случайных факторов, которые будем представлять гауссовскими величинами с заданными характеристиками и матрицей влияния $\bar{F}(t)$. Значения K_2, K_3, K_4 зависят от использования скидок и определяются следующим образом:

$$K_j = \begin{cases} k_j, & \text{если нет скидок,} \\ k_j^*, & \text{если установлены скидки } j = \overline{2,4}. \end{cases}$$

Момент установления скидок и их продолжительность определяются либо менеджером торговой фирмы, либо автоматически при выполнении некоторых критериев. Автоматически скидки можно вводить в момент снижения реализованного дохода относительно планируемого значения, избытка товара на складе.

Для управления поставками при использовании модели (2) используются алгоритмы, приведенные в [3]. Полученные результаты иллюстрируют возможность автоматического установления скидок при управлении поставками для слежения за планируемым доходом и объемом товара на складе.

Литература

1. Мицкевич А.А. Экономический анализ скидок // Экономические стратегии. Институт экономических стратегий. 2006. № 8. С. 148–154.
2. Решетникова Г.Н., Ченбулашкина А.А. Адаптивное управление поставками с учетом ограничений // Физика. Информационные технологии в анализе и синтезе сложных систем. 2015. С. 291–297.
3. Решетникова Г.Н. Адаптивные системы : учеб. пособие. Томск : Издательский дом Томского государственного университета, 2016. 112 с.

АПОСТЕРИОРНЫЕ ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЙ ОБОБЩЕННОГО СИНХРОННОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ НАЛИЧИИ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ

Л.А. Нежелская, Е.Ф. Сидорова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ludne@mail.ru, katusha_sidorova@mail.ru

Задачи оценивания состояний дважды стохастических потоков событий, являющихся математическими моделями реальных потоков, приведены, в частности, в [1, 2], а задачи по оценке параметров потоков при их неполной наблюдаемости решены в [3, 4].

Исследуется обобщенный синхронный поток событий второго порядка, интенсивность которого есть кусочно-постоянный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями: $\lambda(t) = \lambda_1$ и $\lambda(t) = \lambda_2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). Длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в i -ом состоянии ($i = 1, 2$) определяется двумя независимыми случайными величинами: первая с функцией распределения $F_i^{(1)}(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $i = 1, 2$; в момент окончания состояния i наступает событие потока и процесс $\lambda(t)$ переходит в состояние j с вероятностью $P_1^{(1)}(\lambda_j | \lambda_i)$ ($i, j = 1, 2$), $P_1^{(1)}(\lambda_j | \lambda_i) + P_1^{(1)}(\lambda_i | \lambda_i) = 1$ ($i, j = 1, 2$, $i \neq j$); вторая с функцией распределения $F_i^{(2)}(t) = 1 - e^{-\alpha_i t}$, $i = 1, 2$; в момент окончания i -го состояния процесса $\lambda(t)$ наступает событие потока и процесс $\lambda(t)$ переходит в состояние j с вероятностью $P_1^{(2)}(\lambda_j | \lambda_i)$ ($i, j = 1, 2$), $P_1^{(2)}(\lambda_j | \lambda_i) + P_1^{(2)}(\lambda_i | \lambda_i) = 1$ ($i, j = 1, 2$, $i \neq j$).

После каждого зарегистрированного в момент времени t_k события наступает время фиксированной длительности T (мертвое время). События, наступившие в течение периода мертвого времени T , не вызывают продления общего периода ненаблюдаемости исходного потока. По окончании периода мертвого времени первое наступившее событие снова создает период ненаблюдаемости длительности T и т.д. Подчеркнем, что процесс $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс, то наблюдаются лишь моменты t_1, t_2, \dots наступления событий наблюдаемого потока, на основании которых оценивается состояние процесса $\lambda(t)$.

В настоящей работе получены явные виды апостериорной вероятности $w(\lambda_1 | t)$ того, что в момент принятия решения t значение процесса $\lambda(t) = \lambda_1$ ($w(\lambda_2 | t) = 1 - w(\lambda_1 | t)$):

$$w(\lambda_1 | t) = \pi_1 + [w(\lambda_1 | t_k + 0) - \pi_1]e^{-a(t-t_k)}, \quad t_k < t \leq t_k + T, \quad \pi_1 = [\lambda_2 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_2) + \alpha_2 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_2)] / a, \\ a = \lambda_1 P_1^{(1)}(\lambda_2 | \lambda_1) + \lambda_2 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_2) + \alpha_1 P_1^{(2)}(\lambda_2 | \lambda_1) + \alpha_2 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_2),$$

$$\begin{aligned}
w(\lambda_1 | t_k + 0) &= W / [(\lambda_2 + \alpha_2) + [(\lambda_1 + \alpha_1) - (\lambda_2 + \alpha_2)]w(\lambda_1 | t_k - 0)], \\
W &= \lambda_2 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_2) + \alpha_2 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_2) + \\
&+ [\lambda_1 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_1) - \lambda_2 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_2) + \alpha_1 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_1) - \alpha_2 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_2)]w(\lambda_1 | t_k - 0), \\
w(\lambda_1 | t) &= \frac{w(\lambda_1 | t_k + T)e^{-[(\lambda_1 + \alpha_1) - (\lambda_2 + \alpha_2)](t - t_k - T)}}{1 - w(\lambda_1 | t_k + T) + w(\lambda_1 | t_k + T)e^{-[(\lambda_1 + \alpha_1) - (\lambda_2 + \alpha_2)](t - t_k - T)}}, \quad (1)
\end{aligned}$$

$t_k + T < t < t_{k+1}$, $k = 1, 2, \dots$; $w(\lambda_1 | t_k - 0) = w(\lambda_1 | t = t_k)$, $k = 2, 3, \dots$, вычисляется по формуле (1).

На интервале $t_0 = 0 < t \leq t_1$ апостериорные вероятности $w(\lambda_1 | t)$ и $w(\lambda_1 | t = t_1) = w(\lambda_1 | t_1 - 0)$ вычисляются по формуле

$$w(\lambda_1 | t) = \frac{w(\lambda_1 | t_0 + 0)e^{-[(\lambda_1 + \alpha_1) - (\lambda_2 + \alpha_2)](t - t_0)}}{1 - w(\lambda_1 | t_0 + 0) + w(\lambda_1 | t_0 + 0)e^{-[(\lambda_1 + \alpha_1) - (\lambda_2 + \alpha_2)](t - t_0)}}, \quad w(\lambda_1 | t_0 + 0) = \pi_1.$$

Литература

1. Gortsev A.M., Nezhel'skaya L.A., Shevchenko T.I. Estimation of the states of an MC-stream of events in the presence of measurement errors // Russian Physics Journal. 1993. Vol. 36, № 12. P. 1153–1167.
2. Леонова М.А., Нежелская Л.А. Вероятность ошибки при оценивании состояний обобщенного асинхронного потока событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 88–101.
3. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного асинхронного потока событий при непродлеваемом мертвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 4 (21). С. 14–25.
4. Горцев А.М., Калягин А.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного полусинхронного потока событий при непродлеваемом мертвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 2 (27). С. 19–29.

МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В МНОГОМЕРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ*

А.А. Сурина¹, А.Н. Тырсин²

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
dallila87@mail.ru, at2001@yandex.ru

В [1] предложен подход к моделированию риска, согласно которому все факторы риска рассматривают в виде случайного вектора $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_m)$ с плотностью распределения $p_{\mathbf{X}}(\mathbf{x})$, а в качестве управляющих переменных используют его числовые характеристики. Каждый элемент X_j вектора \mathbf{X} является одномерной случайной величиной, которая характеризует функционирование соответствующего элемента исследуемой системы. В докладе рассматриваются модели мониторинга и управления риском на основе данного подхода на примере гауссовской стохастической системы, числовыми характеристиками которой являются вектор математических ожиданий $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_m)$ и ковариационная матрица $\Sigma = \{\sigma_{ij}\}_{m \times m}$.

Вместо общепринятого выделения конкретных опасных ситуаций будем задавать геометрическую область D неблагоприятных исходов. Она может выглядеть произвольным образом в зависимости от конкретной задачи. Наиболее распространена концепция опасных состояний как больших и маловероятных отклонений значений x_{ij} от некоторого наилучшего положения Θ . В этом случае D представляет собой внешнюю область m -осного эллипсоида

$$D = \left\{ \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m) : \sum_{j=1}^m \frac{(x_j - \theta_j)^2}{b_j^2} \geq 1 \right\}.$$

Задав функцию последствий от опасных ситуаций (функцию риска) в виде $g(\mathbf{x})$, получим модель для количественной оценки риска

$$r(\mathbf{X}) = \int \int \dots \int_{\mathbf{R}^m} g(\mathbf{x}) p_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}. \quad (1)$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 17-01-00315а.

В докладе описана методика задания функции $g(\mathbf{x})$. Отметим, что если в (1) принять $g(\mathbf{x}) = 1 \forall \mathbf{x} \in D$ и $g(\mathbf{x}) = 0 \forall \mathbf{x} \notin D$, то $r(\mathbf{X}) = P(\mathbf{X} \in D)$, т.е. риск равен вероятности неблагоприятного исхода.

В задачах мониторинга риска, наряду с оценкой $r(\mathbf{X})$ по всем факторам риска, нужно оценивать вклад каждого фактора в суммарный риск. Введем случайный вектор $\mathbf{X}_k^- = (X_1, \dots, X_{k-1}, X_{k+1}, \dots, X_m)$. Тогда абсолютное изменение риска многомерной системы за счет добавления фактора X_k равно

$$\Delta r(X_k) = r(\mathbf{X}) - r(\mathbf{X}_k^-). \quad (2)$$

Разделив $\Delta r(X_k)$ на риск $r(\mathbf{X}_k^-)$, получим относительное изменение риска многомерной системы за счет добавления фактора X_k

$$\delta r(X_k) = \Delta r(X_k) / r(\mathbf{X}_k^-). \quad (3)$$

Наряду с вкладом в общий риск одного фактора, формулы (2), (3) позволяют оценивать влияние и группы факторов. В результате находятся факторы, оказавшие наибольшее влияние на увеличение риска.

Предложенное в [2] управление многомерным риском в виде задачи его условной минимизации часто дает мало реализуемые на практике решения. В таких случаях решается задача достижения требуемого значения риска при минимальном изменении числовых характеристик случайного вектора \mathbf{X}^0

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m (\sigma_{jk} - \sigma_{jk}^0)^2 + \sum_{i=1}^m (a_i - a_i^0)^2 \rightarrow \min_{\mathbf{a}, \Sigma}, \\ r(\mathbf{X}) = r^*, \Sigma \in G(\Sigma), \mathbf{a} \in H(\mathbf{a}). \end{cases}$$

Предложенные модели мониторинга и управления риском апробированы для ряда задач из разных предметных областей. В докладе приведены результаты апробации при исследовании взаимосвязи популяционного здоровья с факторами риска хронических неинфекционных заболеваний и динамики макроэкономических рисков регионов Уральского федерального округа в 1999-2016 гг.

Литература

1. Тырсин А.Н. О моделировании риска в многомерных стохастических системах // Обзорные прикладной и промышленной математики. 2015. Т. 22, вып. 1. С. 89–90.
2. Тырсин А.Н., Сурина А.А. Моделирование риска в многомерных стохастических системах // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 2 (39). С. 65–72.

АПОСТЕРИОРНЫЕ ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЙ ПОЛУСИНХРОННОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ

Л.А. Нежельская, Д.А. Тумашкина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ludne@mail.ru, diana1323@mail.ru

Дважды стохастические потоки событий, являющиеся математическими моделями реальных потоков в телекоммуникационных сетях, исследованы, в частности, в [1] при решении задач оценивания состояний потока, а также в [2–4], при решении задач оценивания параметров потоков.

Изучается полусинхронный поток событий второго порядка с интенсивностью, представляющей собой кусочно-постоянный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями: $\lambda(t) = \lambda_i$, $i = 1, 2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). Длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в i -м состоянии определяется двумя независимыми случайными величинами. Первая случайная величина с функцией распределения $F_i^{(1)}(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $i = 1, 2$. Пусть $\lambda(t) = \lambda_1$. В момент окончания первого состояния наступает событие потока и процесс $\lambda(t)$ переходит из состояния λ_1 в λ_2 с вероятностью $P_1^{(1)}(\lambda_2 | \lambda_1)$ либо из λ_1 в λ_1 с вероятностью $P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_1)$; $P_1^{(1)}(\lambda_2 | \lambda_1) + P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_1) = 1$. Пусть $\lambda(t) = \lambda_2$. В момент окончания второго состояния наступает событие потока и процесс $\lambda(t)$ остается во втором состоянии с вероятностью единица. Вторая случайная величина имеет функцию распределения $F_i^{(2)}(t) = 1 - e^{-\alpha_i t}$, $i = 1, 2$. Пусть $\lambda(t) = \lambda_1$. В момент окончания первого состояния наступает событие потока и процесс $\lambda(t)$ переходит из состояния λ_1 в λ_2 с вероятностью $P_1^{(2)}(\lambda_2 | \lambda_1)$ либо из λ_1 в λ_1 с вероятностью $P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_1)$; $P_1^{(2)}(\lambda_2 | \lambda_1) + P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_1) = 1$. Пусть $\lambda(t) = \lambda_2$. В момент окончания второго состояния процесс $\lambda(t)$ переходит из состояния λ_2 в λ_1 с вероятностью единица без наступления события.

Каждое зарегистрированное в момент времени t_k событие потока порождает мертвое время фиксированной длительности T , в течение которого другие события исходного потока недоступны для наблюдения. По окончании периода мертвого времени первое наступившее событие снова создает период мертвого времени длительности T и т.д. Процесс $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс, наблюдаются только моменты наступления событий t_1, t_2, \dots ; необходимо по этим наблюдениям оценить состояние процесса $\lambda(t)$.

В данной работе получены явные виды апостериорной вероятности $w(\lambda_1 | t)$ того, что в момент окончания наблюдений t значение процесса $\lambda(t) = \lambda_1$ ($w(\lambda_2 | t) = 1 - w(\lambda_1 | t)$):

$$w(\lambda_1 | t) = \pi_1 + [w(\lambda_1 | t_k + 0) - \pi_1] e^{-a(t-t_k)}, \quad t_k < t \leq t_k + T, \quad a = \lambda_1 P_1^{(1)}(\lambda_2 | \lambda_1) + \alpha_1 P_1^{(2)}(\lambda_2 | \lambda_1) + \alpha_1, \quad \pi_1 = \alpha_2 / a,$$

$$w(\lambda_1 | t_k + 0) = \{[\lambda_1 P_1^{(1)}(\lambda_1 | \lambda_1) + \alpha_1 P_1^{(2)}(\lambda_1 | \lambda_1)] w(\lambda_1 | t_k - 0)\} / \{\lambda_2 + (\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1) w(\lambda_1 | t_k - 0)\},$$

$$w(\lambda_1 | t) = \frac{w_1 [1 - w(\lambda_1 | t_k + T)] - [w_1 - w(\lambda_1 | t_k + T)] e^{-(\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1)(1 - w_1)(t - t_k - T)}}{[1 - w(\lambda_1 | t_k + T)] - [w_1 - w(\lambda_1 | t_k + T)] e^{-(\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1)(1 - w_1)(t - t_k - T)}}, \quad t_k + T < t < t_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

$w_1 = \alpha_2 / (\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1)$; $w(\lambda_1 | t_k - 0) = w(\lambda_1 | t = t_k)$, $k = 2, 3, \dots$, рассчитывается по формуле (1).

На интервале $t_0 = 0 < t \leq t_1$ вероятности $w(\lambda_1 | t)$, $w(\lambda_1 | t = t_1) = w(\lambda_1 | t_1 - 0)$ рассчитываются по формуле

$$w(\lambda_1 | t) = \frac{w_1 [1 - w(\lambda_1 | t_0 + 0)] - [w_1 - w(\lambda_1 | t_0 + 0)] e^{-(\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1)(1 - w_1)(t - t_0)}}{[1 - w(\lambda_1 | t_0 + T)] - [w_1 - w(\lambda_1 | t_0 + 0)] e^{-(\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1)(1 - w_1)(t - t_0)}}, \quad w(\lambda_1 | t_0 + 0) = \pi_1.$$

Литература

1. Леонова М.А., Нежелская Л.А. Вероятность ошибки при оценивании состояний обобщенного асинхронного потока событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 88–101.
2. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного асинхронного потока событий при непродлеваемом мертвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 4 (21). С. 14–25.
3. Горцев А.М., Калягин А.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного полусинхронного потока событий при непродлеваемом мертвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 2 (27). С. 19–29.
4. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Сравнение МП- и ММ-оценок длительности мертвого времени в обобщенном асинхронном потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 4 (25). С. 32–42.

УСТОЙЧИВОСТЬ В ТЕОРЕМЕ НЕЙМАНА-ПИРСОНА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Г.Ш. Цицианивили

Институт прикладной математики Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия
guram@iam.dvo.ru

В работе рассматривается задача определения состояния ненаблюдаемого альтернирующего процесса по наблюдениям за пуассоновским точечным потоком, управляемым альтернирующим процессом. Для решения этой задачи используется лемма Неймана - Пирсона с приближенно заданными распределениями, соответствующими различным состояниям альтернирующего процесса. Эта лемма доказывается в следующих предположениях.

Теорема 1. *Предположим, что невозмущенные $p_j(x)$ и возмущенные $p'_j(x)$ условные вероятности при некотором $N^* < N$ и при любых $x \leq N^*$, $j \in \{1, \dots, m\}$ удовлетворяют неравенствам*

$$q_j(x) p_{j(x)}(x) - q_k p_k(x) > \varepsilon, \quad k = 1, \dots, m, \quad k \neq j(x),$$

$$|p_j(x) - p'_j(x)| < \varepsilon,$$

$$\left| \left[\sum_{x \in X(N^*) \setminus X_j(N^*)} + \sum_{x \in \bar{X}(N^*)} \right] (p'_j(x) - p_j(x)) \right| < \varepsilon.$$

Тогда байесовское решающее правило δ' , определяемое по невозмущенным распределениям $p_j(x)$, но применяемое к возмущенным распределениям $p'_j(x)$, удовлетворяет неравенству для вероятностей ошибочно отвергнуть правильную гипотезу:

$$\alpha(\delta') \leq \alpha(\delta) + \sum_{j=1}^m q_j \sum_{x \in \bar{X}(N^*)} p_j(x) + \varepsilon.$$

Теорема 1 применяется к стационарному дискретному марковскому процессу $y(t), t \geq 0$, с множеством состояний 1, 2 и интенсивностью γ_1 , перехода из состояния 1 в состояние 2 и интенсивностью γ_2 , перехода обратно. Случайный процесс $y(t), t \geq 0$, с вероятностью $q_1 = \gamma_2 / (\gamma_1 + \gamma_2)$ равен 1 и с вероятностью $q_2 = \gamma_1 / (\gamma_1 + \gamma_2)$ равен 2. Он разбивает временную полуось $t \geq 0$ на полуотрезки $0 = T_0 \leq t < T_1, T_1 \leq t < T_2, \dots$ таким образом, что на полуотрезках $[T_0, T_1), [T_2, T_3), \dots$ процесс $y(t)$ принимает значение $y(0)$ а на полуотрезках $[T_1, T_2), [T_3, T_4), \dots$ процесс $y(t)$ принимает значение $y(T_1)$. Полагая, что на полуотрезках $[T_i, T_{i+1}), i \geq 0$, заданы пуассоновские потоки точек интенсивности $\lambda_{y(T_i)}$. Тем самым определяется точечный поток Λ_T на полуинтервале $[0, T)$. По числу точек $n(T)$ потока Λ_T требуется построить процедуру оценки состояния $y(T)$ альтернирующего процесса. Здесь в качестве невозмущенного и возмущенного распределений берутся

$$p_j(x) = P(n(T) = x / y(0) = j, T_1 > T) = \exp(-\lambda_j T) \frac{(\lambda_j T)^x}{x!},$$

$$p'_j(x) = P(n(T) = x / y(T) = j), x = 0, 1, \dots,$$

Строятся оценки близости невозмущенного и возмущенного распределений $p_j(x)$ и $p'_j(x)$ и выводятся неравенства для оценки близости соответствующих этим распределениям вероятностей ошибочно отклонить правильную гипотезу. Приводятся численные примеры применения построенных приближенных байесовских решающих правил. Это предоставляет дополнительные возможности для проверки гипотез применительно к важной прикладной задаче, рассмотренной в работах [1], [2].

Литература

1. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оптимизация параметров адаптера при наблюдениях за МС-потоком // Стохастические и детерминированные модели сложных систем. Новосибирск : Изд-во ВЦ СО АН СССР, 1988. С. 20–32.
2. Горцев А.М., Нежелская Л.А., Шевченко Т.И. Оценивание состояний МС-потока событий при наличии ошибок измерений // Изв. вузов. Физика. 1993. Т. 36, № 12. С. 67–85.

УСЛОВНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ОБЩЕГО ПЕРИОДА НЕНАБЛЮДАЕМОСТИ В ПУАССОНОВСКОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ ПРИ ПРОДЛЕВАЮЩЕМСЯ СЛУЧАЙНОМ МЕРТВОМ ВРЕМЕНИ

А.М. Горцев, М.Е. Завгородняя, А.А. Шитина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ann.shitina@gmail.com

Рассматривается пуассоновский поток событий интенсивности λ . После каждого зарегистрированного в момент времени t_i события наступает период мёртвого времени случайной длительности, который порождается этим событием, так что другие события пуассоновского потока, наступившие в течение этого периода мёртвого времени (периода ненаблюдаемости), недоступны наблюдению. В то же время, хотя события и не наблюдаются в течение периода мёртвого времени случайной длительности, они вызывают продление периода ненаблюдаемости на некоторую величину случайной длительности, так что наблюдаться будет лишь то событие, которое наступило после окончания всех мёртвых времён, созданных зарегистрированным (наблюдаемым) событием и всеми ненаблюдаемыми событиями. В результате формируется общий период ненаблюдаемости событий случайной длительности. По окончании общего периода ненаблюдаемости первое наступившее событие снова создает период мертвого времени случайной длительности и т.д. Принимается, что случайная длительность мёртвого времени, порождаемая каждым событием пуассоновского потока, распределена по экспоненциальному закону с параметром α ($\alpha > 0$). Таким образом, моменты времени t_1, t_2, \dots наступления наблюдаемых событий исходного пуассоновского потока образуют наблюдаемый поток.

Подчеркнем, что вопросам функционирования потоков событий в условиях детерминированного мёртвого времени посвящено большое количество работ, приведем одну из них [1]. Однако достаточно открытым остаётся вопрос изучения потоков событий, когда мёртвое время является случайной величиной. Здесь отметим работу [2], в которой решается задача оценки параметра распределения непродлевающегося мёртвого времени случайной длительности в пуассоновском потоке событий, и работу [3], в которой находятся приближённые формулы для начальных моментов общего периода ненаблюдаемости в пуассоновском потоке событий при наличии продлевающегося случайного мёртвого времени.

Рассматривается ситуация, когда общий период ненаблюдаемости ξ порождается i ($i=1,2,\dots$) последовательными событиями исходного пуассоновского потока, что является $(i-1)$ -кратным продлением случайного мертвого времени. Выводится явная формула плотности вероятности $p_i(\xi)$ общего периода ненаблюдаемости, порожденного i событиями исходного потока:

$$p_1(\xi) = \alpha e^{-\alpha\xi}, \quad \xi \geq 0;$$

$$p_i(\xi) = \frac{i\alpha\lambda^{i-1}}{(i-2)!} e^{-\lambda\xi} \int_0^\xi (\xi-x)^{i-2} e^{(\lambda-\alpha)x} (1-e^{-\alpha x})^{i-1} dx, \quad \xi \geq 0, \quad i=2, 3, \dots$$

При этом условное математическое ожидание $M(\xi|i)$ определяется формулой:

$$M(\xi|i) = \int_0^\infty \xi p_i(\xi) d\xi = \frac{1}{\alpha} \sum_{k=1}^i \frac{1}{k} + \frac{i-1}{\lambda}, \quad i=1, 2, \dots$$

Литература

1. Горцев А.М., Соловьёв А.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов потока физических событий при непродлевающемся мёртвом времени // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57, № 7. С. 103–111.
2. Горцев А.М., Завгородняя М.Е. Оценивание параметра непродлевающегося мёртвого времени случайной длительности в пуассоновском потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 40. С. 32–40.
3. Глухова Е.В., Терпугов А.Ф. Оценка интенсивности пуассоновского потока событий при наличии продлевающегося мёртвого времени // Известия высших учебных заведений. Физика. 1995. Т. 38, № 3. С. 22–31.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗОРЕНИЯ СТРАХОВОЙ КОМПАНИИ ДЛЯ МОДЕЛИ КРАМЕРА-ЛУНДБЕРГА С ММР-ПОТОКОМ СТРАХОВЫХ ВЫПЛАТ

К.И. Лившиц

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
kim47@mail.ru

Стандартной задачей актуарной математики является задача вычисления вероятности разорения страховой компании, т.е. вероятности ситуации, когда страховая компания не может исполнять свои финансовые обязательства ввиду отсутствия денежных средств при различных предположениях о потоках, поступающих в компанию страховых премий и страховых выплат, производимых страховой компанией.

Сложность состоит, как правило, в нахождении явных решений соответствующих интегро-дифференциальных уравнений, определяющих вероятность разорения. Поэтому представляет интерес нахождение оценок для вероятности разорения, для построения которых не нужно решать соответствующие уравнения. В настоящей работе предлагается и исследуется оценка вероятности разорения страховой компании для модели Крамера-Лундберга с ММР-потоком страховых выплат [1, 2].

Модель Крамера-Лундберга с ММР-потоком страховых выплат строится при следующих предположениях [1,2]: процесс поступления страховых премий в компанию считается детерминированным, за время t приращение капитала равно Ct , где C – количество средств, поступивших в компанию в единицу времени, страховые выплаты – независимые, одинаково распределенные случайные величины с плотностью распределения $\Psi(x)$ и моментами $M\{x^k\} = a_k, k=1,2,\dots$, моменты наступления страховых выплат образуют ММР-поток с интенсивностью $\lambda(t)$. Интенсивность $\lambda(t)$ является однородной цепью Маркова с непрерывным временем и m состояниями $\lambda(t) = \lambda_i$. Пусть $S(t)$ – капитал компании (процесс риска) в момент времени t . Определим $T = \inf\{t: S(t) < 0\}$ и $T = \infty$, если $S(t) \geq 0 \forall t$. Случайная величина T есть момент разорения, а $P(S) = \Pr\{T < \infty | S(0) = S\}$ – вероятность разорения страховой компании. Для рассматриваемой модели процесс

риска $S(t) = S(0) + Ct - \sum_{k=1}^{n(t)} y_k$, $n(t)$ – число страховых выплат к моменту времени t , y_j – величина j -й страховой выплаты. Для классической модели Крамера-Лундберга известна оценка вероятности разорения De Vylder [3], которая основана на идее замены истинного процесса риска с произвольным распределением страховых выплат на процесс риска, в котором страховые выплаты имеют экспоненциальное распределение с параметром \hat{a} , а параметры аппроксимирующего процесса $\hat{a}, \hat{\lambda}, \hat{C}$ подобраны так, чтобы три первых момента у истинного и аппроксимирующего процессов риска совпадали. За оценку вероятности разорения при этом принимается вероятность разорения, соответствующая аппроксимирующему процессу. Воспользуемся этой идеей. Пусть поток страховых выплат является пуассоновским с интенсивностью $\hat{\lambda}$, скорость поступления страховых премий равна $\hat{C} = (1 + \hat{\theta})\hat{\lambda}\hat{a}$. Тогда, как хорошо известно, вероятность разорения страховой компании

$$P(S) = \frac{1}{1 + \hat{\theta}} e^{-\frac{\hat{\theta}}{(1 + \hat{\theta})\hat{a}} S}. \quad (1)$$

Соотношение (1) принимается за оценку вероятности разорения. Рассмотрены примеры, позволяющие оценить качество предлагаемой оценки.

Литература

1. Лившиц К.И., Бублик Я.С. Вероятность разорения страховой компании при дважды стохастическом потоке страховых выплат // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 1(10). С. 66–77.
2. Лившиц К.И., Бублик Я.С. Распределение условного времени до разорения страховой компании при дважды стохастическом потоке страховых выплат // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 4 (13). С. 15–23.
3. Grandell J. Simple approximation of ruin probabilities // Insurance: Mathematics and Economics. 2000. V. 26. P. 157–173.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Распределенные вычислительные системы и параллельные информационно-вычислительные технологии

<i>Арыков С.Б.</i> Решение прикладных задач в системе параллельного программирования аспект	3
<i>Белых В.С., Громов М.Л., Шабалдина Н.В.</i> К аппаратной реализации нейрона на ПЛИС	4
<i>Гусельников М.Д., Комаров В.Ю., Киреев С.Е.</i> Поиск пиков интенсивности дифракции для нестрогопериодических кристаллических структур	4
<i>Ефимов А.В., Павский К.В.</i> Модернизация PBS TORQUE и MAUI для отказоустойчивого выполнения параллельных программ на распределенных вычислительных системах	5
<i>Городничев М.А., Киреев С.Е.</i> Обзор систем разработки программ решения крупномасштабных численных задач	6
<i>Крамаренко К.Е., Курносов М.Г.</i> Дешифрация синдрома вычислительных систем методами машинного обучения с учителем	7
<i>Перышкова Е.Н., Курносов М.Г.</i> Формирование подсистем элементарных машин в вычислительных системах с учетом конкурентного разделения каналов связи	8
<i>Рыжова С.Е.</i> Сравнительный анализ реализаций декодеров БЧХ-кода с параметрами (15,7,5) на ПЛИС	9
<i>Семенов А.А.</i> Расчет оболочечных конструкций и распараллеливание процессов вычислений	10
<i>Титов А.И., Комаров В.Ю., Киреев С.Е.</i> Оптимизация алгоритмов анализа масштабных моделей гибридных кристаллических структур	11
<i>Перепёлкин В.А., Ткачёва А.А.</i> Подсистема императивного исполнения фрагментированных программ LUNA-FRAMEWORK	12
<i>Шерстобитов А.М.</i> Способ обработки сигналов импульсного когерентного доплеровского лидара в режиме реального времени	13
<i>Климова О.В.</i> Декомпозиционный подход к построению параллельных алгоритмов обработки двумерных данных	14
<i>Мигов Д.А., Винс Д.В.</i> Параллельная реализация и имитационное моделирование оценки надёжности сети методом монте-карло	15
<i>Лукин Н.А.</i> Однородные вычислительные среды: основы кодизайна и метрики сложности вычислений	15
<i>Филимонов А.Ю., Тришин В.Н.</i> Модельно-ориентированный ко-дизайн однородных вычислительных сред	16

Секция 2. Клеточные автоматы и нейронные структуры

<i>Киреева А.Е., Грибов Е.Н., Сабельфельд К.К., Мальцева Н.В.</i> Трёхмерная клеточно-автоматная модель электрохимического окисления углерода	18
<i>Маркова В.П.</i> Исследование влияния вероятностей столкновения частиц в недетерминированных клеточных автоматах, моделирующих волновые процессы	19
<i>Торгаев С.Н., Шаляпина Н.А., Сухоруков М.П., Торгаева Д.С.</i> Перспективы использования искусственных нейронных сетей для диагностики и управления техническими объектами	20
<i>Kulyukin V.A., Mukherjee S., Burkatovskaya Yu.B.</i> In situ classification of raw audio samples by convolutional neural networks in electronic beehive monitoring	21
<i>Гу Ч., Громов М.Л.</i> Создание системы управления на основе нейронных сетей	21

Секция 3. Информационные технологии в сфере образования

<i>Аксенова В.И., Шкляр Т.Ф., Первухин Н.А.</i> Статистический анализ в практике применения бально-рейтинговой системы как средства повышения качества образования	23
<i>Бабанов А.М.</i> Решение триединой задачи проектирования схем БД в ERM-модели	24
<i>Горбунов А.В., Веселов Г.Е.</i> Информационные технологии формирования штатного расписания Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета	25
<i>Веселов Г.Е., Познина Н.А., Горбунов А.В., Кумов А.М.</i> Современные информационные технологии в организации образовательного процесса	26
<i>Маслова Ю.В., Коханенко А.П.</i> Информационные технологии в междисциплинарном проекте студентов-инженеров	27
<i>Политов М.В.</i> Опыт использования социальных сетей для проведения занятий со студентами инженерного профиля	28

<i>Беккерман Е.Н., Прокопенко С.А., Четурная А.В.</i> К разработке модуля решения задач обучающей системы по курсу «аналитическая геометрия»	29
<i>Москалев А.К., Черемискина Е.В.</i> Нейросетевые технологии оценки возможностей региональных вузов в экспорте образовательных услуг	30
<i>Шарапов Д.А., Змеев Д.О.</i> Сравнительный анализ графических движков UNITY3D и UNREAL ENGINE как инструмента для проектной деятельности со школьниками	31

Секция 4. Информационные технологии в технических системах

<i>Астахова А.С.</i> Сравнение приемников спутниковой навигации GEO++GNsmart и предложение методов выбора месторасположения приёмников	33
<i>Булаев В.В., Шорилов А.Ф.</i> Адаптивная коррекция управления в задачах терминального управления для одного класса нелинейных динамических систем	34
<i>Горанов А.Ю., Шорилов А.Ф.</i> Об одном методе решения задачи оптимального терминального управления сближением двух космических аппаратов	34
<i>Дмитренко А.Г.</i> Моделирование электромагнитного рассеяния на двух эллипсоида	35
<i>Добронец Б.С., Попова О.А., Пархоменко Д.Б.</i> Визуально-интерактивное моделирование в условиях многомерности	36
<i>Иванов М.А., Мусоров И.С.</i> Система управления координатным оптическим столом	37
<i>Шорилов А.Ф., Калёв В.И.</i> Решение задачи оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива ракеты-носителя	38
<i>Мосин С.Г.</i> О выборе существенных характеристик выходных откликов для эффективной диагностики неисправностей аналоговых интегральных схем	39
<i>Поршнев С.В., Бородин А.М., Пономарева О.А., Мирвода С.Г.</i> Обоснование структуры хранения данных АИС ВМП	40
<i>Почуфаров А.О., Зозоль Р.В., Брагина А.Д., Шадрин Д.В.</i> Устройство автоматического контроля цифровых микросхем	41
<i>Самолутченко М.И., Мусоров И.С.</i> Система управления высоковольтным источником для накачки активных сред на парах металлов	42
<i>Сурич В.А., Тырсин А.Н.</i> Сглаживание зашумленных контрастных изображений на основе обобщенного метода наименьших модулей	43
<i>Бабенко Ю.Д., Громов М.Л.</i> Определение временных характеристик автомата, описывающего систему «микроконтроллер-программа»	44
<i>Богушевский Д.Е., Михеев П.А., Приступа П.В., Суценок С.П.</i> О влиянии соперничества за разделяемые связанные ресурсы на доступную полосу пропускания транспортного соединения	45
<i>Кулагин А.Е., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С.</i> Пространственно-временная математическая модель активной среды на парах меди	46
<i>Хорошев В.В.</i> Перспективы развития модульной диагностической платформы на основе IoT для железнодорожной инфраструктуры	47
<i>Шадрин Д.В., Щербаков М.С., Почуфаров А.О.</i> Беспроводной протокол передачи данных для системы «Умный Дом» с поддержкой модульной структуры сети	48
<i>Шахов Д.Б.</i> Использование коммутаторов с топологической адресацией для построения мультиинтерфейсных сетей в блоках силовой автоматики	49
<i>Шахов Д.Б.</i> Применение сетевых концентраторов для построения высокоскоростного мультиплексного канала обмена в системах управления КА	50
<i>Киреев А.С., Торгаев С.Н.</i> Разработка и реализация алгоритма управления антропоморфным манипулятором	51
<i>Торгаева Д.С., Сухоруков М.В., Шиняков Ю.А., Шаляпина Н.А.</i> Моделирование усилий на полированном штоке штангового глубинного насоса для добычи нефти	52
<i>Фаттахова Н.В., Пономарева О.А.</i> Методика согласования данных интегрируемых информационных систем на крупном предприятии	53
<i>Щербаков М.С., Шадрин Д.В.</i> Беспроводной протокол передачи данных для системы «умный дом» с поддержкой модульной структуры сети	54

Секция 5. Информационные системы в архитектуре и градостроительстве, в охране природы, экологии и здравоохранении

<i>Давыдов Н.С., Придвижкин С.В., Белькевич А.В.</i> Системы автоматизации выпуска сметной документации по BIM-модели	55
<i>Ерахтин И.К., Аристов А.А.</i> Разработка оптоэлектронной системы для оптической диффузионной томографии	56

<i>Захарова Г.Б.</i> Интеллектуальные информационные технологии в строительной отрасли	57
<i>Аристов А.А., Ким С.С.</i> Исследование влияния величины гематокрита на рассеивающие свойства капельных образцов крови	58
<i>Коломоец С.С., Павлова А.А.</i> Удельная электропроводность воды термокарстовых озер Ямало-Ненецкого автономного округа.....	59
<i>Кошечкина Т.О., Дмитриев Ю.Г.</i> Комбинированные оценки запасов полезных ископаемых	59
<i>Лежнина И.А., Оверчук К.В., Уваров А.А.</i> Система удаленного мониторинга ЭКГ	61
<i>Гуменюк А.С., Поздниченко Н.Н., Шпынов С.Н., Скиба А.А.</i> Матрица и меры сходства – новые средства для сравнительного исследования геномов однохромосомных микроорганизмов	62
<i>Астахова А.С., Кузнецова Т.В.</i> Разработка программного продукта «Телефонный справочник предприятия» на основании исследования потребностей предприятия ООО Газпром трансгаз Томск	63
<i>Гендрина И.Ю., Алексеенко М.А.</i> Сравнение двух методов статистической обработки результатов моделирования переноса излучения через атмосферу	64
<i>Збыковский К.В., Карпов А.В.</i> Проектная модель управления в государственных органах власти	64
<i>Катаева С.С., Катаев С.Г.</i> Аппроксимация МС-потокком временной последовательности природных событий	65

Секция 6. Информационные технологии в исследовании дискретных структур

<i>Батрацкий С.В., Прокопенко С.А., Громов М.Л., Шабалдина Н.В.</i> Тестирование Java программ с использованием инструмента FSMTEST2JUNIT	67
<i>Болтова В.С., Шабалдина Н.В.</i> Разработка XML-представления для описания структуры автоматной композиции	68
<i>Винарский Е.М.</i> О верхней оценке длины кратчайшей установочной последовательности для недетерминированных автоматов	69
<i>Городецкий Д.А., Вилла Т.</i> Полиномиальные разложения симметрических булевых функций при аппаратной реализации арифметических операций	69
<i>Бурдонов И., Евтушенко Н.В., Косачев А., Шнитман В.</i> О синхронной композиции детерминированных автоматов	70
<i>Лапутенко А.В., Торгаев С.Н.</i> Сравнение производительности различных реализаций самообучающихся моделей на примере задачи классификации	71
<i>Логинова И.П.</i> Верификация с использованием средств formalpro в системе логического проектирования заказных КМОП СБИС	72
<i>Матросова А.Ю., Останин С.А., Николаева Е.А.</i> Синтез частично программируемых схем, маскирующих логические неисправности элементов	73
<i>Митрофанов Е.В.</i> Обнаружение и маскирование вредоносных подсхем, активируемых вне рабочей области функционирования схемы	74
<i>Останин С.А., Лаверов В.А., Третьяков Д.А.</i> Синтез отказоустойчивых автоматных сетей для неисправностей задержек путей	75
<i>Парватов Н.Г., Голубева О.И.</i> Нахождение достаточных множеств частичной функции	77
<i>Плотников С.В.</i> К проблеме неоднозначного восстановления информации с помощью кусочно-линейной технологии, использующей разбиения Делоне	77
<i>Поттосин Ю.В.</i> Параллельная декомпозиция систем частичных булевых функций	78
<i>Поттосина С.А.</i> О применении задачи о кратчайшем покрытии при тестировании программного продукта	79
<i>Провкин В.А., Матросова А.Ю.</i> О повышении защищённости логических схем от внедрения вредоносных подсхем	80
<i>Дарусенкова Е.В., Прокопенко С.А., Шабалдина Н.В.</i> К построению параллельной композиции расширенных автоматов	81
<i>Проценко А.С., Татарников А.Д.</i> Автоматическая генерация тестовых шаблонов на основе спецификаций системы команд	82
<i>Смолов С.А., Камкин А.С., Лебедев М.С.</i> Формальная проверка эквивалентности описаний цифровой аппаратуры	83
<i>Сотников А.П., Шабалдина Н.В.</i> Применение операций левого/правого частного для очистки пользовательских данных в ВЕБ-приложениях	84
<i>Твардовский А.С., Евтушенко Н.В.</i> К построению подавтоматов без слияний для недетерминированных конечных автоматов	85
<i>Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д.</i> Поиск подсхем в КМОП схеме из транзисторов	86
<i>Черемисинова Л.Д.</i> Генерация тестов на основе графа достижимых состояний цифровой системы	87
<i>Матросова А.Ю., Останин С.А., Чернышов С.В.</i> Поиск ложных путей в логических схемах из двухвходовых вентилях с использованием операций над ROBDD-графами	88

<i>Shabaldina N., Yevtushenko N., Yu F.</i> Towards checking WEB-services security: using automata equations and inequalities	90
<i>Громов М.Л., Шаляпина Н.А.</i> О трех эвристиках исключения неоднозначности при доопределении булевых функций	91
<i>Шварцкоп В.А.</i> К покомпонентной оптимизации синхронной композиции автоматов	92
<i>Буторина Н.Б., Пахомова Е.Г.</i> О длинах путей самотестируемых детекторов, построенных в базе ПЛБ	92
<i>Матросова А.Ю., Андреева В.В.</i> Обнаружение робастно тестируемых неисправностей задержек путей	93
<i>Винарский В.М., Костюкова О.Д., Романов А.А.</i> Имитационная модель различных стратегий замещения страниц в оперативной памяти	94
<i>Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В., Абдуллаев Р.Б.</i> Полиномиальные коды в системах функционального контроля комбинационных логических схем	95
<i>Бабанов А.М., Квач Е.С.</i> Использование «IS-A»-отношений в информационных системах	96
<i>Шумилов Б.М.</i> Мультивейвлеты ортогональные многочленам	98

Секция 7. Системы искусственного интеллекта

<i>Мунтян Е.Р.</i> О проблеме догенерации графа при моделировании взаимодействия социальных групп	99
<i>Саакян Э.Т., Ермаков А.Д.</i> Моделирование поведения паникующей толпы в проверяемом помещении при эвакуации	100
<i>Сорокин М.С., Захарова Г.Б.</i> Система поиска видео в динамическом архиве на основе машинного обучения	101
<i>Ширяев Б.В.</i> Алгоритм автоматизированного визуального контроля при производстве МИС СВЧ с использованием искусственных нейронных сетей	102
<i>Азарян А.А., Тырсин А.Н.</i> Быстрые алгоритмы устойчивого оценивания линейных регрессионных моделей	103

Секция 8. Информационные технологии в исследовании стохастических структур

<i>Акбердина В.В., Чернавин Н.П.</i> Применение метода комитетов к анализу технических индикаторов рынка акций московской биржи	105
<i>Беккерман Е.Н., Шмырин И.С.</i> Оценивание числа состояний синхронного дважды стохастического потока событий	106
<i>Vorobeychikov S.E., Burkatovskaya Yu.B.</i> Parameter estimation and change-point detection for AR(p)/ARCH(q) process with unknown parameters	107
<i>Галицкая А.О.</i> Анализ открытой сети обслуживания с ограниченным числом заявок и обходами	108
<i>Геворгян Г.Г., Тырсин А.Н.</i> Векторное энтропийное управление многомерными стохастическими системами	109
<i>Dogadova T.V., Vasiliev V.A.</i> Adaptive prediction of non-gaussian ornstein-uhlenbeck process	110
<i>Дмитриев Ю.Г., Зенкова Ж.Н., Зенков А.Г.</i> Статистические свойства оценок метода измерения ценовой чувствительности PSM	111
<i>Ким К.С., Смагин В.И.</i> Рекуррентное прогнозирование в дискретных системах со случайными скачкообразными параметрами с двумя состояниями и неизвестным входом	112
<i>Копать Д.Я., Матальцкий М.А.</i> О нахождении ожидаемых доходов в сети с положительными заявками и сигналами различных типов	113
<i>Корелин И.А., Поршнев С.В.</i> Исследование влияния случайных вариаций интенсивности входного потока на макроскопические показатели нестационарной системы массового обслуживания	114
<i>Дмитриев Ю.Г., Кошкин Г.М.</i> Оценивание нетто-премий и пенсионных рент с использованием дополнительной информации	115
<i>Дмитриев Ю.Г., Кошкин Г.М.</i> Об условной оценке функционала от распределения	116
<i>Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M., Lukov V.Yu.</i> Identification and prediction for compound models	117
<i>Павский В.А., Павский К.В.</i> Функция распределения пребывания масштабируемой вычислительной системы в состоянии низкой производительности при групповом восстановлении	118
<i>Дмитриев Ю.Г., Пальянова Ю.Е.</i> Прогнозирование тенденции максимальной цены акции	119
<i>Попова О.А., Добронез Б.С., Жмурова А.А.</i> Построение регрессионных моделей над эмпирическими распределениями	120
<i>Приступа П.В., Сущенко С.П.</i> Расчет пропускной способности транспортного протокола с прямой коррекцией ошибок для селективного режима отказа	121
<i>Решетникова Г.Н.</i> Управление поставками при использовании скидок	122
<i>Нежелская Л.А., Сидорова Е.Ф.</i> Апостериорные вероятности состояний обобщенного синхронного потока событий второго порядка при наличии мертвого времени	123

<i>Сурина А.А., Тырсин А.Н.</i> Модели мониторинга и управления риском в многомерных стохастических системах	124
<i>Нежелская Л.А., Тумашикина Д.А.</i> Апостериорные вероятности состояний полусинхронного потока событий второго порядка в условиях неполной наблюдаемости	125
<i>Цициашвили Г.Ш.</i> Устойчивость в теореме Неймана-Пирсона и ее применения	126
<i>Горцев А.М., Завгородняя М.Е., Шитина А.А.</i> Условная плотность вероятности общего периода ненаблюдаемости в пуассоновском потоке событий при продлеваемом случайном мертвом времени	127
<i>Лившиц К.И.</i> Оценка вероятности разорения страховой компании для модели Крамера-Лундберга с ММР-потоком страховых выплат	128

Научное издание

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ
СЛОЖНЫХ СТРУКТУР**

**МАТЕРИАЛЫ
ДВЕНАДЦАТОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
4–8 июня 2018 г.**

Издание подготовлено в авторской редакции

Компьютерная верстка А.И. Лелююр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано к печати 03.05.2018 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 15,8.
Тираж 130 экз. Заказ № 3166.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)-53-15-28
сайт: <http://publish.tsu.ru>; e-mail: rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-94621-698-2

