

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АНГАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ СО РАН

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ИССЛЕДОВАНИИ
СЛОЖНЫХ СТРУКТУР**

**МАТЕРИАЛЫ
ТРИНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
7–9 сентября 2020 г.**

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2020

УДК 004(082)
ББК 73я431
Н766

Редакционная коллегия выпуска:

А.М. Горцев, профессор, заведующий кафедрой ПМ ИПМКН НИ ТГУ, Томск
М.Л. Громов, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
С.Н. Торгаев, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
Ю.Г. Медведев, старший научный сотрудник лаборатории синтеза параллельных программ,
ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск
С.А. Останин, зав. кафедрой компьютерной безопасности ИПМКН НИ ТГУ, Томск
Е.Н. Беккерман, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
Н.В. Шабалдина, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
С.А. Прокopenко, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
Г.М. Захарова, доцент, УрГАХУ, Екатеринбург
А.Ю. Матросова, профессор, кафедра компьютерной безопасности ИПМКН НИ ТГУ, Томск
Л.А. Нежелская, профессор кафедры ПМ ИПМКН НИ ТГУ, Томск

Новые информационные технологии в исследовании сложных структур :
Н766 материалы Тринадцатой Международной конференции, 7–9 сентября 2020 г. –
Томск : Издательский Дом Томского государственного университета,
2020 – 164 с.

ISBN 978-5-94621-913-6

Тринадцатая конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур» была проведена в дистанционном формате с 7 по 9 сентября 2020 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 978-5-94621-913-6

© Томский государственный университет, 2020
© Авторы статей, 2020

Секция 1. ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ 1,2-ДИХЛОРЭТАНА В АЗОТ

Е.В. Подоплелов, А.В. Бальчугов, А.И. Дементьев

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия
uch_sovet@angtu.ru

Взаимодействие газовой и жидкой фазы в отдельных случаях сопровождается самопроизвольным возникновением конвективных потоков и турбулентных пульсаций на границе раздела фаз и в прилегающих областях. Гидродинамическая неустойчивость позволяет ускорить межфазный перенос вещества и приводит к увеличению коэффициентов массоотдачи [1]. Исследования в данной области имеют не только теоретическое, но и прикладное значение, так как поверхностная конвекция может искусственно создаваться в аппаратах для интенсификации процесса массообмена.

В процессе жидкофазного хлорирования этилена имеет место испарение 1,2-дихлорэтана в азот, содержащийся в абгазном хлоре. Теоретически выясним возможность возникновения конвективных структур на поверхности при испарении горячего 1,2-дихлорэтана в азот. Пусть ламинарный поток азота пропускается над горизонтальной поверхностью слоя неподвижного 1,2-дихлорэтана (рис. 1). Скорость азота постоянна – w , м/с. Протяженность поверхности контакта газа и жидкости – l , м. Высота слоя газа – h , м. Высота слоя жидкости d , м. Ширина поверхности контакта – b , м. Начальная концентрация паров 1,2-дихлорэтана в азоте – C_H (моль/м³). Равновесная концентрация паров 1,2-дихлорэтана в азоте – C^* . Так как поток азота ламинарный, перенос паров 1,2-дихлорэтана в направлении оси y осуществляется только путем молекулярной диффузии. За начало координат по оси y принимается поверхность жидкости.

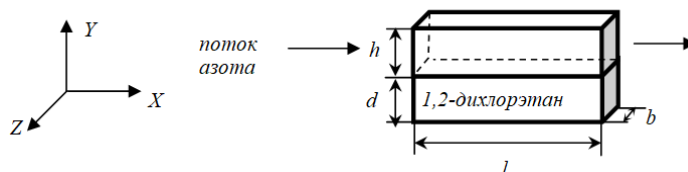


Рис. 1. Схема движения азота над горизонтальной поверхностью 1,2-дихлорэтана

Диффузия паров в азоте описывается уравнением конвективной диффузии в безразмерной форме:

$$\partial^2 c / \partial x^2 + \partial^2 c / \partial y^2 = \alpha \partial c / \partial x, \quad (1)$$

где: $\alpha = wl/D$; c – безразмерная концентрация $c = C_H / C_H^*$; $x = X/l$, $y = Y/l$.

Граничные условия: при $x=0$ и при любом y $c=0$; при $y=0$ и при $x>0$ $c=1$; при $x=1$ и при любом y $\partial c / \partial x = 0$; при $y=1$ и при любом x $\partial c / \partial y = 0$.

Распределение температуры в плёнке 1,2-дихлорэтана описывается уравнением теплопроводности в безразмерной форме:

$$\partial^2 t / \partial x^2 + \partial^2 t / \partial y^2 = 0 \quad (2)$$

Граничные условия: при $y=1$ $\lambda T_0 / l \cdot \partial t / \partial y = r \cdot D \partial C / \partial Y$; при $y=0$ $t=0$; при $x=0$ и $x=1$ $\partial t / \partial x = 0$, где: T_0 – начальная температура жидкости и температура нижней грани пленки жидкости, равная 79°C.

Уравнение 1 и 2 решали методом конечных разностей в программе *Mathcad*. По результатам расчёта были построены изотермы в слое испаряющейся жидкости при скорости газа 3 м/с (рис. 2).

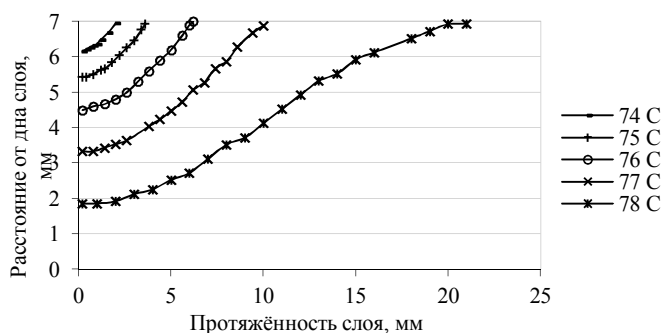


Рис. 2. Изотермы в слое испаряющейся жидкости

Из рис. 2 видно, что градиент температуры на первых 10 мм поверхности составляет 2°C и более. Поскольку градиент температуры превышает критический $\Delta T_{кр} = 2,75 \text{ град}$, то в пленке 1,2-дихлорэтана имеет место термокапиллярная конвекция, ускоряющая процесс массопереноса в процессе получения 1,2-дихлорэтана. Данная модель позволяет выполнять расчеты и для других газожидкостных систем, а результаты расчетов могут быть использованы при проектировании массообменных аппаратов.

Литература

1. Гершуни Г.З., Жуковичский Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРАХОВОГО ФОНДА НА ОСНОВЕ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА РИСКА

Ю.М. Краковский¹, Н.А. Хоанг²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

² Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск, Россия
79149267772@yandex.ru

Автоматизированное оборудование является сложным и многокомпонентным, что усложняет его мониторинг, диагностику, обслуживание и ремонт. Оборудование в процессе эксплуатации функционирует в условиях неопределенности и требует различных технологий ремонта и обслуживания. Необходимо также учитывать, что эти работы осуществляются при ограниченных финансовых и технологических ресурсах. В связи с этим, исследование эффективности ремонтных работ сложного автоматизированного оборудования является важной и актуальной задачей [1]. В данном исследовании предполагается наличие страхового фонда, который выполняет две функции [2]: 1) накапливает платежи с различной периодичностью для выполнения различного вида ремонтных работ оборудования. Такими работами являются: а) текущие; б) аварийные; в) капитальные. Для каждого вида работ устанавливается периодичность пополнения страхового фонда (сутки) и их стоимость (млн руб.); 2) по мере необходимости оплачивает эти работы. При этом для каждого вида работ устанавливается периодичность использования страхового фонда (сутки) и их стоимость (млн руб.). Эти величины являются случайными с известными функциями распределения до значений их параметров.

Для математического описания состояния страхового фонда в момент времени t предлагается использовать случайный процесс риска – $R(t)$ [2, 3]. Учитывая три вида ремонтных работ, определим случайный процесс риска для описания состояния страхового фонда следующим образом

$$R(t) = X_0 + Y1(t) + Y2(t) + Y3(t) - YA(t) - YT(t) - YK(t), \quad (1)$$

где X_0 – начальные средства страхового фонда; $Yj(t)$ – суммарные накопления платежей по видам работ к моменту времени t , ($j=1, 2, 3$), накопления могут поступать с различной периодичностью и различными значениями; $YA(t)$ – суммарные затраты по аварийным ситуациям; $YT(t)$ – суммарные затраты для выполнения текущих работ; $YK(t)$ – суммарные затраты для выполнения капитальных работ.

Для случайного процесса риска (1) определяется момент времени τ , когда первый раз выполняется условие $R(t) < 0$ (финансы на выполнение ремонтных работ закончились). В результате многократного имитационного моделирования процесса (1), для этих величин создается выборка объема n

$$T = (\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n). \quad (2)$$

Моделирующая программа, реализующая процесс (1), использует событийный подход. Она имеет возможность «настраиваться» на различные исходные данные, что позволяет проводить исследования в их широком диапазоне.

Таблица 1

Результаты моделирования

B	$R\tau(90)$	$R\tau(180)$	$t_r(90)$	$t_r(180)$	$y_r(90)$	$y_r(180)$
1	0,071	0,150	66,74	113,02	28,36	56,61
2	0,072	0,159	63,80	109,37	29,34	39,88
3	0,102	0,219	56,50	97,94	24,99	32,45
4	0,096	0,207	57,02	98,25	26,08	32,07

В таблице 1 приведены результаты моделирования для четырех технологий (B) пополнения страхового фонда. Показателями эффективности являются: оценка риска, учитывающего отсутствие финансового обеспечения ремонтных работ ($R\tau$); численная средняя наработка (t_r , сутки), учитывающая «отказ в обслуживании» по финансовым причинам; численный гамма-процентный ресурс (y_r , сутки). При этом из выборки (2) извлекались выборочные значения в диапазонах от 0 до 90 суток и от 0 до 180 суток. По результатам исследования получены практические выводы, например: по минимальным значениям риска и

по максимальным значениям показателей надежности предпочтение следует отдать первому варианту, когда периодичность платежей в страховой фонд зависит от вида и трудоемкости ремонтных работ.

Литература

1. *Лыфарь В.А., Сафонова С.А., Иванов В.Г.* Разработка метода оптимизации проведения ремонтно-восстановительных работ с учетом показателей риска // Технологический аудит и резервы производства. 2015. № 2 (22). С. 11–17.
2. *Краковский Ю.М., Хоанг Н.А.* Оценка ресурсно-затратного риска при организации ремонтных работ сложного роботизированного оборудования // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2019. № 4. С. 29–35.
3. *Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я.* Математические основы теории рисков. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 620 с.

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Ю.В. Коновалов, О.А. Засухина

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
yrvaskon@mail.ru

В настоящее время развивающиеся компании сталкиваются с задачей модернизации собственной IT-инфраструктуры для увеличения её производительности. Это может потребовать постройки нового собственного центра обработки данных (ЦОД), подбор персонала, проектирование, монтаж базовых и дополнительных элементов ЦОД, что сопряжено с временными и материальными затратами. Альтернативой этому является активное развитие облачных технологий и виртуализации. В России появились провайдеры, предоставляющие услугу «Облачный ЦОД», которая позволяет полностью перевести IT-инфраструктуру на аутсорсинг, сохранив при этом высокий уровень масштабируемости и надёжности. Крупные компании убедились в надёжности и безопасности облачных сервисов. В электроэнергетике, сейчас идет формирование по сути нового рынка услуг, а также консалтинга в этой сфере. Суть облачных технологий заключается в том, что потребитель использует сторонние ресурсы как сервис, перенося в «облако» информацию и удаленно используя средства обработки и хранения данных. Существует три вида «облака». Первый уровень – IaaS (infrastructure as a service), второй – PaaS (platform as a service) и третий – SaaS (software as a service). Они отличаются друг от друга тем, что адаптируются под разные потребности клиентов [1, 2, 3].

Электроэнергетика постепенно трансформируется в более интеллектуальную структуру: прежде всего, речь идет о внедрении различных автоматических интеллектуальных устройств и приборов в системах учета и распределения электроэнергии. Отрасль «оцифровывается» в том числе за счёт миграции в «облако». В электроэнергетике центры обработки данных должны функционировать в едином облачном IT-пространстве [3]. При этом любой из этих ЦОД является интегрированным, т.е. включает в себя различные виды облачных технологий. ЦОД сетевых, генерирующих компаний и «Системного оператора» взаимосвязаны между собой разными каналами передачи данных. Данная модель является интегрированной, комбинированной и гибкой, она содержит как традиционные каналы передачи данных, так и каналы передачи данных через облачные сервисы. У электроэнергетики есть своя специфика. С одной стороны, оптимальное решение вопросов энергоуправления и энергоконтроля необходимо для успешной работы предприятия и его конкурентоспособности. С другой – в ходе цифровой трансформации оно может быть осложнено такими характеристиками современных энергетических систем как сложность и критичность. Сложность энергосистем проявляется, например, в том, что они все больше масштабируются по мере внедрения новых технологий и процессов. Кроме того, современное оборудование функционирует вместе с другим, уже морально устаревшим. Вторая характеристика энергосистем – их условная важность. Например, эффективность организации по использованию энергии может оказать значительное влияние на бюджет самой организации, а неполадки в работе энергосистемы способны подвергнуть риску сотрудников или имущество компании. В индустрии ЦОД эта сумма может составить 750 тыс. евро за событие, а в сфере телекоммуникаций – 30 тыс. евро в минуту [4]. По экспертным оценкам 25% систем управления электропотреблением имеют устаревшие конфигурации, которые подвергают угрозе мониторинг и контроль систем электроснабжения (СЭС), 10–15% устройств в типичной системе управления завершают свой жизненный цикл, свыше 15% объектов потенциально могут привести к повреждению оборудования и незапланированному простоям.

Все это в совокупности требует менять привычную парадигму мышления и переходить на проактивный подход в эксплуатации энергосистем вместо того, чтобы «ждать» аварии, а затем устранять её в авральном режиме, параллельно неся убытки из-за простоя оборудования. Технологической основой для этого может стать облачный сервис Power Advisor. На начальном этапе проводится мониторинг, собираются данные по СЭС и загружаются в «облако». Затем строится цифровая иерархическая модель СЭС, осуществляется анализ данных, чтобы найти потенциальные проблемы, и составляется отчет, на основании которого заказчик принимает меры. На заключительном этапе Power Advisor проверяет, исправлены ли недостатки, и при необходимости составляет новые рекомендации.

Таким образом применение облачных технологий в электроэнергетике позволит внедрить проактивный подход при функционировании объектов электроэнергетики и снизить потребление электроэнергии на обслуживание собственной ИТ-инфраструктуры.

Литература

4. Риз Дж. Облачные вычисления / пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 288 с.
5. Фингар П. Dot.Cloud: облачные вычисления – бизнес-платформа XXI века. М.: Акварариновая книга, 2011. 256 с.
6. Шайхутдинов А.М. Возможности использования облачных технологий в энергетике // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2, Ч. 3. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/45646> (дата обращения: 25.03.2019).
7. Знаете ли вы, во сколько обходится крупной компании перебой электроснабжения? // Интервью руководителя направления решений для повышения качества электроснабжения Schneider Electric Кирилла Кокоулина. URL: <https://www.facebook.com/SchneiderElectricRU/> (дата обращения: 05.01.2020).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ FUZZY-ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Ю.В. Коновалов

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
ygvaskon@mail.ru

При управлении электрохозяйством основным методом ограничения электропотребления является регулирование режима напряжения [1, 2]. Для выбора, определяющего режим напряжения не удается применить строгую однозначную процедуру синтеза алгоритмов на основе математической модели, которая бы описывала состояния всей системы электроснабжения и нагрузки в виду вероятностного характера параметров. Поэтому выбор должен осуществляться с применением методов теории нечеткой логики и опыта специалистов, когда производится обработка информации лингвистически сформулированных экспертных знаний, т.е. с использованием информационных FUZZY-технологий.

Нечеткие множества параметров и их функции принадлежности могут быть представлены в виде лингвистических множеств – терм-множеств. Экспертом ставится в соответствие степень принадлежности все терм-множествам, которая наилучшим образом соответствует смысловой интерпретации данным термам рассматриваемого множества. Для лингвистического описания регулируемых величин применяются линейные треугольные функции принадлежности, которые симметричны относительно нулевой точки. Это позволяет построить FUZZY-модуль выбора присоединения с минимальным количеством вычислительных операций. При этом принятое количество лингвистических термов достаточно для того, чтобы поддерживать систему в устойчивом состоянии.

Установлено, что режим системы электроснабжения промышленного предприятия, с определенными допущениями, можно характеризовать совокупностью четырех параметров: мощностью нагрузки (S), протяженностью линии (L), регулирующих эффектов по напряжению (P(U)) и распределением нагрузки вдоль линии (R(L)). Этот режим описывается пятью термами: режим очень тяжелый (ОТ), режим тяжелый (Т), режим средний (СР), режим легкий (Л), режим очень легкий (ОЛ). Дополнительно введен пятый параметр – категория энергообъекта по ущербу от отклонения напряжения от рационального уровня (K(U)).

Интервалы возможного изменения мощности нагрузки и длины линии могут быть разбиты на пять термов (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0). Мощность нагрузки отходящих линий можно получить на основе данных от первичных датчиков тока и напряжения, входящих в состав существующей комплексной системы управления качеством электроснабжения. Информация о длине всех контролируемых линий заносится в базу данных.

Категория энергообъекта по ущербу от отклонения напряжения от рационального уровня (K) присваивается каждому потребителю при анализе энергопотребителей и создании базы данных. Всю зону ущербов можно разделить на три терма и каждой присвоить свою категорию: большой (1), средний (2), малый (3). Терм-множество зависимости электрической нагрузки от уровня напряжения P(U) состоит из трех отдельных термов: сильная - 0,9 (С), средняя 0,6 (СР), слабая 0,3 (СЛ).

Распределение нагрузки вдоль линии (R) представлена тремя термами: нагрузка сосредоточена в начале линии (Н), распределена вдоль линии (Р), сосредоточена в конце (К). При составлении логического вывода необходимо учитывать, что при изменении конфигурации линии и нагрузочных узлов, и вариации напряжения в центре питания режим напряжения электроприемников, размещенных вдоль линии существенно изменяется.

С помощью функций принадлежности, определенных для входных переменных, вычисляются их фактические значения для каждой линии, и определяется степень уверенности для каждой предпосылки правила относительно всех лингвистических термов. При фазифицировании получены исходные данные в форме параметров, функций принадлежности и степеней принадлежности элементов параметров. На основе логических правил, выполняются основные FUZZY-логические вычисления, в результате которых производится выбор линии и определяющей режим напряжения для них.

Разработанный алгоритм группового управления режимом напряжения с использованием устройств автоматического регулирования при эксплуатации силовых трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, позволяет произвести выбор рационального напряжения в центрах питания. При реализации данного алгоритма учитывается: техническое состояние средств регулирования, параметры режима в контролируемых линиях электропередач, возможность выполнения FUZZY-логических операций и определение рационального уровня напряжения, при минимальном экономическом ущербе от потерь электроэнергии.

Литература

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / под ред. Б.И. Кудрина. М.: Теплотехник, 2017. 220 с.
2. Коновалов Ю.В., Нурбосынов Д.Н., Артеменко В.Н., Жемойдин Н.Г. Расчет оптимального установившегося режима системы электроснабжения промышленной подстанции // Вестник АНГТУ. Ангарск. 2016. № 10. С. 66–70.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАССЕЯНИЯ НА ТОНКИХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕМ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЦИЛИНДРАХ

А.Г. Дмитренко, О.М. Балашова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
agdmitr.202@mail.ru

Значительный интерес для исследователей представляет изучение рассеяния электромагнитных волн в резонансной частотной области на структурах, состоящих из одного или нескольких тонких цилиндров конечной длины. Этот интерес обусловлен необходимостью решения таких практически важных проблем как проблемы радиолокационной заметности, идентификации объектов, оценки рассеяния диэлектрическими или металлическими цилиндрическими деталями различных геометрически сложных тел и др. Под тонким цилиндром обычно понимается цилиндрическое тело, поперечные размеры которого много меньше его длины и длины падающей волны. Анализ имеющейся в распоряжении авторов литературы показывает, что известны работы, например [1–2], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на одиночном тонком прямолинейном идеально проводящем цилиндре, а также работы, например [3–4], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на одиночном тонком однородном прямолинейном диэлектрическом цилиндре. Однако в известной авторам литературе до сих пор отсутствуют работы, посвященные рассеянию на структурах, состоящих как из идеально проводящих, так и из диэлектрических тонких цилиндров.

В данном докладе рассматривается электромагнитное рассеяние на одной из структур, содержащих как идеально проводящие, так и диэлектрические тонкие цилиндры, а именно на структуре, образованной двумя взаимно ортогональными цилиндрами. В основе решения задачи лежат следующие модели рассеянного поля во внешней среде и внутри диэлектрического цилиндра. Рассеянное поле во внешней среде представлено в виде суммы полей неизвестных вспомогательных токов, непрерывно распределенных вдоль осевых линий цилиндров. На оси идеально проводящего цилиндра размещен вспомогательный электрический ток, а на оси диэлектрического цилиндра размещены как вспомогательный электрический ток, так и вспомогательный магнитный ток. Поле внутри диэлектрического цилиндра представлено в виде суммы полей пар вспомогательных элементарных электрических диполей с неизвестными дипольными моментами, размещенных в дискретных точках на вспомогательной поверхности, охватывающей диэлектрический цилиндр. В каждой точке размещения вспомогательные диполи ориентированы тангенциально по отношению к вспомогательной поверхности. Выбранные представления для полей удовлетворяют уравнениям Максвелла и условиям излучения на бесконечности. Неизвестные распределения осевых токов и 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. С помощью этой программы исследовано влияние параметров структуры на ее сечения рассеяния. В докладе будут приведены результаты исследований.

Литература

1. Bogerd J.C., Tijhuis A.G., Klaasen J.J.A. Electromagnetic excitation of a thin wire: a traveling-wave approach // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1998. Vol. 46, № 8. P. 1202–1211.
2. Hatamzadeh-Varmazyar S. New numerical method for determining the scattered electromagnetic fields from thin wires // Progress in Electromagnetic Research. 2008. Vol. 3. P. 207–218.

3. Yan W.Z., Du Y., Wu H., Liu D.W. EM scattering from a long dielectric circular cylinder // Progress in Electromagnetic Research, PIER 85. 2008. P. 39–67.
4. Дмитренко А.Г., Гольцварт Е.П. Решение задачи электромагнитного рассеяния на тонком диэлектрическом цилиндре методом вспомогательных источников // Радиотехника и электроника. 2011. Т. 56, № 5. С. 600–607.

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.О. Катасонов¹, В.Н. Маликов¹, С.Ф. Дмитриев¹, А.М. Сагалаков¹, А.В. Ишков²

¹ Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

² Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия
mirotnas@gmail.com

Проблемы контроля качества проводящих материалов занимают важное место в современной прикладной физике и промышленном производстве [1]. В этой связи актуальной задачей становится разработка сверхминиатюрных вихретоковых измерительных систем для локальных измерений электропроводности в неоднородных материалах, поиска дефектов в сплавах.

Тенденция миниатюризации ВТП связана с необходимостью проведения локальных измерений. В последнее время разработаны ВТП, имеющие габаритные размеры 5×5 мм с диаметром используемой проволоки рабочей области 0,15 мм [2].

Цель данной работы – разработка сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей, обеспечивающих глубину проникновения до 5 мм и локализацию в 2 500 мкм² и работающих под управлением персонального компьютера через микроконтроллер платформы Arduino Uno.

Контролируемым параметром является величина электропроводности материала и ее распределение по поверхности и толщине исследуемого объекта. В соответствии с реализуемой авторами концепцией виртуализированных приборов, предназначенных для исследования однородных и неоднородных электропроводящих сред, токовихревой преобразователь подключен к плате Arduino Uno, работающей под управлением специального программного обеспечения (ПО). ПО управляет подачей напряжения на генераторную обмотку преобразователя, а также считывает значения напряжения с измерительной обмотки в условных единицах, которые далее, с учетом предварительной калибровки, переводятся в значения электропроводности. В работе использовали сердечники различной формы: трапециевидной и сердечник, выполненный в виде заостренного конуса. В качестве образцов использовали пластину из сплава Al-Mg (Al – 94%, Mg – 3%) с толщиной 5,5 мм. Пластина содержала 6 дефектов в виде прорезей толщиной 0,25 мм на глубине 1; 2; 3; 4; 5; 5,3 мм. Результаты сканирования представлены на рисунке 2: U – напряжение, вносимое на измерительную обмотку датчика; l – положение датчика относительно начала объекта.

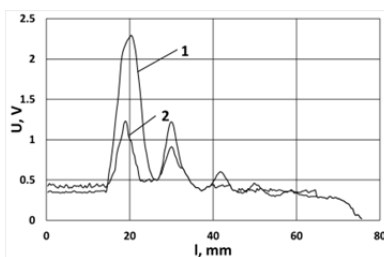


Рис. 1. Результаты измерений образца № 1 (а):
1 – измерение с использованием ВТП-1; 2 – измерения с использованием ВТП-2

В работе представлена измерительная система, предназначенная для исследования дефектов сплавов с помощью сверхминиатюрных ВТП. Проведенное исследование демонстрирует возможности вихретокового метода контроля для поиска малых дефектов глубокого залегания в алюминиевых сплавах. Сверхминиатюрные ВТП, сконструированные на основе сердечников трапециевидной формы, позволяют эффективно выявлять длинные подповерхностные трещины с шириной раскрытия в 250 мкм.

Литература

1. Barbato L. Solution and Extension of a New Benchmark Problem for Eddy Current Nondestructive Testing // IEEE Transactions on Magnetics. 2015. № 51 (7). P. 14–25.
2. Sakran F. High-frequency eddy-current technique for thickness measurement of micron-thick conducting layers // Applied Physics Letters. 2013. № 78. P. 27–43.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОЖНО-ЭЛЕКТРОДНОГО КОНТАКТА*

А.И. Моренец, Б.Н. Павленко, И.А. Лежнина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
morenetz.artem@gmail.com, boris.11.08.1996@gmail.com, inna84-08@mail.ru

В современных методах электрокардиографии используются различные типы датчиков. Основным типом, используемым в медицинских учреждениях, являются так называемые хлорсеребряные (AgCl) электроды. Данные электроды относительно дешевы, однако требуют использования специальных контактных гелей, обеспечивающих качественный кожно-электродный контакт [1]. Также необходимо корректное их расположение на теле пациента и отсутствие волосяного покрова в месте наложения, что затрудняет их использование в домашних условиях.

Альтернативой этим электродам являются емкостные датчики, основанные на ином физическом принципе регистрации биопотенциалов, образуя емкость между пластиной датчика и телом человека [2]. Биопотенциал, возникающий на сенсорной обкладке датчика, поступает на схему преобразования и усиления, после чего поступает в ЭКГ-прибор. Ключевой особенностью емкостных датчиков является возможность использования их в системах персонализированной медицины. Эта возможность обусловлена тем, что нет необходимости предварительно подготавливать участки кожи, к которым прикладываются датчики [3]. Так или иначе, наличие волосяного покрова, пота или ткани ухудшают качество кожно-электродного контакта, вследствие чего уменьшается емкость между датчиком и телом.

Качество сигнала напрямую зависит от величины емкости, что требует использования систем компенсации нарушения качества кожно-электродного контакта. Уменьшение емкости приводит к снижению коэффициента передачи сигнала, вследствие чего уменьшается его амплитуда. Отслеживание качества контакта позволяет выявить датчик с плохим кожно-электродным контактом и внести корректировки в сигнал.

На датчике, помимо сенсорной обкладки, предусмотрена обкладка измерения емкости кожно-электродного контакта, величина которой влияет на частоту импульсов LC-генератора. Данная частота измеряется микроконтроллером и, в зависимости от значения частоты, устанавливается значение сопротивления цифрового потенциометра. Это позволяет регулировать коэффициент усиления в схеме преобразования биосигнала и, тем самым, нивелировать снижение коэффициента передачи.

В алгоритме системы компенсации (рис. 1) представлены основные функциональные блоки программы. Данный алгоритм реализован в микроконтроллере STM32F407VGT6, выбор которого обусловлен высокой тактовой частотой и широкими возможностями дальнейшего расширения функциональных возможностей датчиков.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет компенсировать нарушения качества кожно-электродного контакта, тем самым повышая точность и диагностическую ценность получаемых данных. Внедрение данного алгоритма дает возможность использовать датчики в устройствах персонализированной медицины, применение которых может быть сопряжено с некорректной методикой проведения электрокардиографического исследования.

Литература

1. Суворов А. В. Клиническая электрокардиография. Нижний Новгород: Изд-во НМИ, 1993. 124 с.
2. Chi Y.M., Jung T.P., Cauwenberghs G. Dry-Contact and Noncontact Biopotential Electrodes: Methodological Review // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2010. № 3. P. 106–119.
3. Matthews R., McDonald N.J., Fridman I., Hervieux P., Nielsen T. The invisible electrode – zero prep time, ultra low capacitive sensing // In Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction. 2005. P. 22–27.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00535.



Рис. 1. Алгоритм программы системы компенсации нарушения кожно-электродного контакта

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА КОЖНО-ЭЛЕКТРОДНОГО КОНТАКТА НА ЭКГ-СИГНАЛ*

А.И. Моренец, Б.Н. Павленко, И.А. Лежнина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
morenetz.artem@gmail.com, boris.11.08.1996@gmail.com, inna84-08@mail.ru

На сегодняшний день происходит бурное развитие средств персонализированной медицины [1]. Особое место в данной отрасли занимают приборы регистрации ЭКГ-сигналов для персонального использования, т.е. вне медицинских учреждений. В стандартных электрокардиографах как правило используются хлорсеребряные (AgCl) электроды [2]. Использование данных электродов в домашних условиях весьма затруднительно, в частности, поскольку необходимо обеспечивать хороший контакт электрода с телом в том числе за счет использования специальных гелей. Альтернативой данным электродам являются так называемые емкостные (сухие) электроды [3].

Принцип действия емкостных электродов основан на передаче сигнала ЭКГ через емкость, образованную между электродом и телом пациента. Преимуществом такого типа электродов является отсутствие необходимости в предварительной подготовке при их использовании [4]. Однако следует отметить, что при использовании их в домашних условиях необходимо контролировать качество кожно-электродного контакта. С этой целью нашей научной группой были проведены исследования влияния качества кожно-электродного контакта на регистрируемый сигнал и разработан датчик с обратной связью.

В ходе исследований был разработан алгоритм и программа на его основе. Разработанная программа осуществляет расчет коэффициента корреляции между сигналами во временном отрезке, соответствующем двум R-R интервалам. Это позволяет осуществлять сравнение данных сигналов. Алгоритм был реализован в пакете прикладных программ MATLAB 2018. В алгоритме реализованы функции выбора необходимых файлов, содержащих данные об ЭКГ-сигнале, фильтрации сигналов, изменения величины R-R интервалов и расчета коэффициента корреляции, а также вывода полученных данных на экран (рис. 1). Важнейшей частью данного алгоритма является функция изменения значения R-R интервала одного из сигналов. Производить расчет коэффициента корреляции для двух сигналов, величины R-R интервалов которых различаются, некорректно.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет производить оценку качества регистрируемых ЭКГ-сигналов, что дает возможность осуществлять последующую их коррекцию в приборах персонализированной медицины. Это дает возможность повысить достоверность диагностических данных.

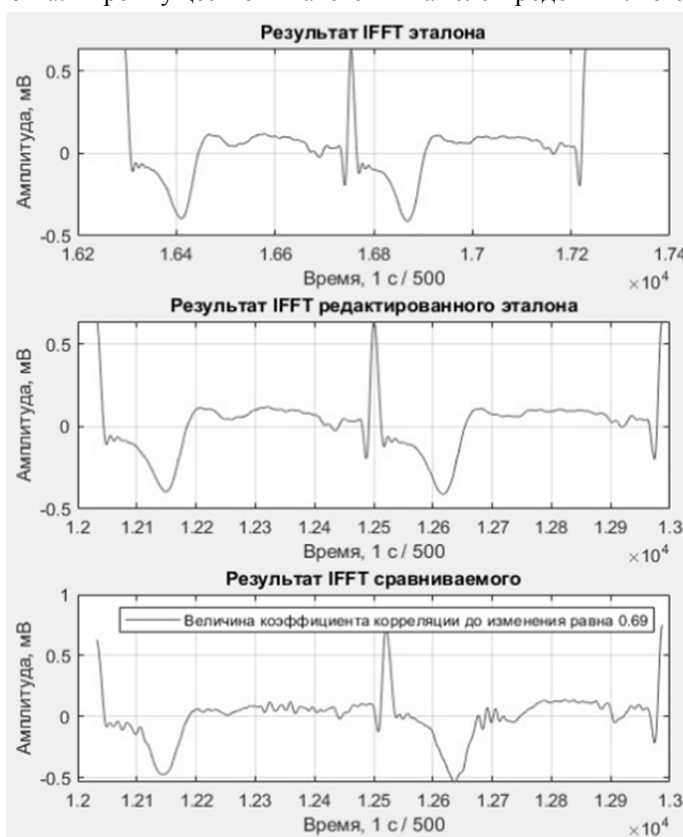


Рис. 1. Пример интерфейса программы оценки коэффициента корреляции двух ЭКГ-сигналов

Литература

3. Dinesen B., Nonnecke B. et al. Personalized Telehealth in the Future: A Global Research Agenda // Journal of medical Internet Research. 2016. № 3. P. 1–17.
4. Суворов А. В. Клиническая электрокардиография. Нижний Новгород: Изд-во НМИ, 1993. 124 с.
5. Chi Y.M., Jung T.P., Cauwenberghs G. Dry-Contact and Noncontact Biopotential Electrodes: Methodological Review // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2010. № 3. P. 106–119.
6. Matthews R., McDonald N. J., Fridman I., Hervieux P., Nielsen T. The invisible electrode – zero prep time, ultra low capacitive sensing // In Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction. 2005. С. 22–27.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00535.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ТЕПЛОСЧЕТЧИКОВ

П.А. Зорин¹, О.В. Стукач²

¹ООО «Центр сервисного обслуживания», Томск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия;

²Высшая школа экономики, Москва, Россия

zpa@csu.tom.ru

Особенностью коммерческого приборного учёта тепловой энергии является большая вариабельность схем и типов нагрузки, попадающих под учёт теплосчётчиков. Например, под учёт может попадать отопление жилого дома с горячим водоснабжением как открытого, так и закрытого типа. Некоторые теплосчётчики при этом учитывают только отопление. Теплопотребление зависит от многих факторов, таких как материал стен и крыши, количество этажей и так далее. Это приводит, в частности, к необходимости создания практической методики сравнения тепловых характеристик жилых домов для того чтобы принимать обоснованные управленческие решения по увеличению энергоэффективности зданий [1].

Цель работы – создание методики анализа данных о теплопотреблении домов, основанной на статистическом моделировании ежедневных показаний теплосчётчиков и данных жилищного учёта.

Показателем теплоснабжения здания может служить энергия, потребленная зданием за отопительный сезон. При фиксированной комфортной температуре внутри помещений, например, $T_{\text{вн}}=24^{\circ}\text{C}$ измеряется тепловая энергия, потребленная зданием. Чем она меньше, тем лучше качество теплозащиты и тем больше энергоэффективность здания. Для статистического анализа были использованы среднесуточные показания теплосчётчиков с 1 декабря 2013 года до 30 сентября 2017 года. Данные были дополнены этажностью, материалом стен и годом постройки, а также данными среднесуточных температур наружного воздуха.

В докладе показано, что наилучшей характеристикой динамики теплопотребления является коэффициент теплоотдачи G , определяемый как отношение потребленного тепла за сутки по данным теплосчётчика к разности среднесуточной температуры наружного воздуха $T_{\text{нар}}$ и $T_{\text{вн}}$, умноженной на площадь помещений. Для каждого дома построены диаграммы рассеяния, типичный вид которых изображён на рис. 1. Для сравнения зданий по теплопотреблению диаграммы были аппроксимированы полиномом третьего порядка, рассчитаны интегралы как площадь под кривой, они рассортированы по возрастанию, после чего построена столбчатая диаграмма для всех 1 359 домов (рис. 2).

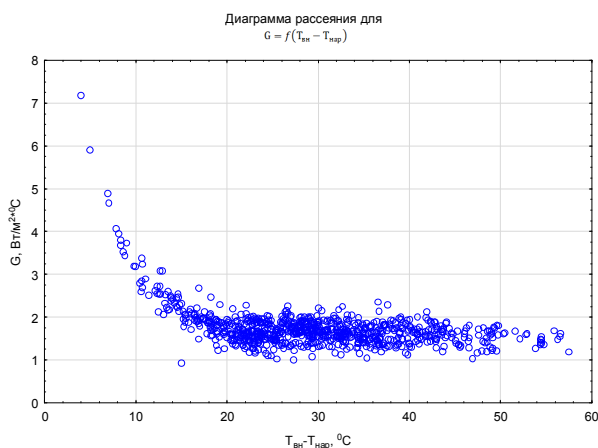


Рис. 1. Пример диаграммы рассеяния для одного здания

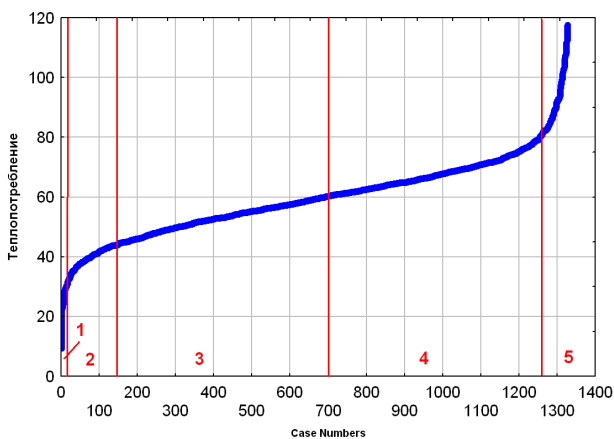


Рис. 2. Интегральное теплопотребление всех зданий

Рис. 2 позволяет сделать вывод о существовании пяти групп зданий, значительно отличающихся по теплопотреблению. Самые энергоэффективные дома входят в первую группу, но их всего 6% городского фонда. Подавляющая часть зданий – кирпичных и панельных принадлежит 3–4 группам, это 67% жилого фонда. В пятом классе много блочных, деревянных и старых панельных домов, они самые неэффективные. Необходимость сноса этих домов очевидна, и архитектурной ценности они не представляют. Ситуацию с энергоэффективностью в городе можно значительно улучшить, если установить автоматические регуляторы температуры в домах, принадлежащих четвёртой группе, поскольку это сразу даст значительное уменьшение объёма теплоносителя.

Литература

1. Зорин П.А., Куртеев С.В., Пуговкин А.В., Стукач О.В. Контроль энергоэффективности теплоснабжения зданий типовой застройки // Электронные средства и системы управления. 2018. № 1–2. С. 302–305.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А.Б. Шамардин, А.Д. Шамардин

ООО «Строительная компания “Дальпитерстрой”», Санкт-Петербург, Россия
an.shabo@yandex.ru

Экономическое обоснование инвестиционных проектов зданий в период применения Федерального закона от 25.12.2018 № 478-ФЗ о проектном финансировании строительства жилья имеет решающее значение в конкурентной борьбе строительных компаний на рынке недвижимости. Согласно ФЗ № 478-ФЗ застройщики при реализации инвестиционных проектов должны использовать только свои и заемные средства уполномоченных банков, а средства дольщиков хранятся на эскроу-счетах и перечисляются строителям после получения разрешения на ввод жилья в эксплуатацию.

Банковское финансирование предоставляется застройщикам под процент: застройщик обязан вернуть кредит, что увеличивает себестоимость проекта. Предполагается, что порядка 3% годовых начисляются на сумму эквивалентную сгенерированным деньгам на эскроу-счетах. Остальная сумма кредита будет выдаваться по рыночным ставкам ориентировочно под 10–12% годовых. То есть, самые дорогие деньги застройщик получает на начальной стадии реализации проекта, когда привлечение дольщиков только начинается, а капитальные затраты уже высоки. Таким образом, задача застройщика снизить себестоимость строительства и максимально эффективно использовать собственные денежные средства в начальный период строительства.

В общем случае снижение затрат на строительство достигается:

- принятием экономически обоснованных объемно-планировочных решений, когда в проекте отсутствуют сверхулучшения, т.е. продаваемая коммерческая площадь составляет максимальный процент от общей площади здания. Так в Санкт-Петербурге в 2019 году средневзвешенное значение продаваемой площади для 9-16 этажных зданий составляет 78,6% от общей площади здания;

- снижением расхода материалов и затрат на эксплуатацию машин и механизмов, здесь имеется прямая зависимость стоимости здания от конструктивных решений, принятых квалифицированным конструктором;

- сокращением срока строительства, особенно это существенно при привлечении заемных средств банков и ограничении затрат на административные расходы в сумме 10% от стоимости строительства.

Известно, что общестроительные работы составляют ориентировочно 60% от сметной стоимости строительно-монтажных работ, поэтому принятие экономически обоснованных объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений играют решающую роль в стоимости строительства.

При принятии архитектурных решений в коммерческих проектах необходимо учитывать, что увеличение высоты этажа на 10 см увеличивает сметную стоимость дома на 1,3%. Увеличение ширины коридоров и лестнично-лифтовых узлов от минимально необходимых [1] на 10 см увеличивает стоимость общестроительных работ ориентировочно на 0,7%.

Для определения влияния конструктивных решений на стоимость несущих элементов здания проведен математический эксперимент. Рассчитывался расход материалов для железобетонных конструкций жилого здания с поперечными несущими стенами. Варьировалась ширина здания в пределах 15,0–18,0 м, высота здания – 9–16 этажей, высота этажа – 2,8–3,0 м и шаг поперечных стен и колонн – 3,5–7,2 м. Определялись толщина плит перекрытий и стен и величины их армирования в зависимости от величин пролетов при различных вариантах стоимости бетона и арматуры. Расчеты показали, что с увеличением шага стен до 6 метров удельный расход бетона уменьшается на 18%, а арматуры на 12%. Далее при возрастании шага стен до 7,2 м идет увеличение расхода бетона и арматуры за счет увеличения толщины перекрытий для обеспечения необходимого прогиба. Расчеты железобетонных конструкций проводились по программам на C++ по требованиям норм СП [2]. Кроме того, проводился сравнительный анализ стоимости различных видов ограждающих конструкций наружных стен и определялся наиболее энергоэффективный вариант при требуемом значении сопротивления теплопередаче стены в г. Санкт-Петербурге по нормам [3].

В ООО «Строительной компании «Дальпитерстрой» разработаны программы на C++ для экспресс-анализа объемно-планировочных и конструктивных решений зданий на стадии эскизных проработок и разработки стадии «Проект», которые дают возможность принять экономически обоснованные решения при разработке строительных проектов и снизить затраты на строительно-монтажные работы на 10–12%.

Литература

1. СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2017. 21 с.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2004. 26 с.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 29 с.

ОФИСНЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ В ПОДГОТОВКЕ СОВРЕМЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Ф.И. Эминов¹, И.Н. Голицына², Б.Ф. Эминов¹

¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КАИ), Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
fie@list.ru

Развитие технологий приводит к четвертой промышленной революции, в результате которой формируется Промышленность 4.0 (Industry 4.0), основанная на робототехнике, искусственном интеллекте и интернете вещей. Под концепцией Образование 4.0 понимается образование, которое должно соответствовать Промышленности 4.0 и подготовить студентов к следующей промышленной революции, которая произойдет в их жизни [1]. Формирование образовательной среды Образования 4.0 требует развития междисциплинарного содержания в таких направлениях, как проектирование CPS (киберфизических систем), модульность, функциональная совместимость (объекты, машины и люди должны иметь возможность общаться через Интернет вещей и Интернет людей), виртуализация, децентрализация, возможности взаимодействия в реальном времени, сервисная ориентация [2]. В [3] мы рассматривали междисциплинарный образовательный контент для подготовки ИТ-специалистов, который включает изучение основ широкого спектра технологий, направленных на применение в инфокоммуникационной инфраструктуре предприятий, и перспективы развития таких технологий. В настоящее время в КНИТУ-КАИ проходит обсуждение и опрос студентов всех направлений и специальностей о пожеланиях изучения междисциплинарного факультативного курса «Офисные и промышленные информационные системы и сети». Курс ориентирован на студентов, для которых информационные технологии не являются основным профилем их направления обучения.

В курсе выделяются составляющие цифровой экономики, технологии, используемые при их реализации. рассматриваются цифровые формы управления и функционирования предприятий. При изучении курса студенты получают представление о технологиях управления предприятиями, основанных на жизненном цикле изделий и бизнес-процессах, а также о технологиях управления технологическими процессами [4, 5]. Взаимодействия между субъектами бизнеса могут осуществляться в соответствии с технологией block chain, которая основывается на таких информационных ресурсах, как децентрализованная глобальная база данных и списки пользователей, имеющих санкционированный доступ. При изучении дисциплины рассматривается информационно-коммуникационная инфраструктура, составляющая систему управления корпорации – ее структура, используемые среды передачи данных, оборудование, сетевые службы. Рассматриваются вопросы администрирования, эксплуатации информационных систем и сетей, а также перспективы их развития.

Для получения практических навыков студентам предлагается выполнить следующие лабораторные работы: «Монтаж сети на основе кабельной инфраструктуры», «Монтаж сети на основе беспроводных соединений», «Формирование рабочего места».

Литература

1. *Kolesnichenko E.A., Radyukova Y.Y., Pakhomov N.N.* The role and importance of knowledge economy as a platform for formation of Industry 4.0 // *Industry 4.0: Industrial revolution of the 21st century.* Springer, Cham, 2018. P. 73–82.
2. *Jeganathan L., Khan A.N., Raju J.K., Narayanasamy S.* On a Frame Work of Curriculum for Engineering Education 4.0 // 2018 World Engineering Education Forum – Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC). Albuquerque, NM, USA, 12–16 Nov. 2018. 6 p.
3. *Eminov F.I., Golitsyna I.N., Eminov B.F.* Enterprise infocommunication infrastructure in training of IT-professionals // *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing. 2018. Vol. 1015. 042014 p.
4. *Эминов Б.Ф., Эминов Ф.И.* Корпоративные информационные системы: учеб. пособие. Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. 144 с.
5. *Эминов Б.Ф., Эминов Ф.И.* Сетевые технологии: учебное пособие. Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. 192 с.

СИНТЕЗ ПРОГРАММ ПОЛНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

М.А. Гордон¹, П.А. Василенко², Д.В. Седых²

¹ «Гипротрансигналсвязь» – филиал АО «Росжелдорпроект», Санкт-Петербург, Россия

² Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I, Санкт-Петербург, Россия
gordon_ma@mail.ru

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики необходимы для обеспечения безопасного управления движением поездов. На железнодорожных станциях данные системы имеют название электрической

централизации (ЭЦ). Данные системы вне зависимости от аппаратной базы (релейной или микропроцессорной) являются дискретными, то есть описываются булевыми выражениями [1].

Для синтеза программ полной функциональной проверки системы ЭЦ можно использовать основные чертежи технической документации на данную систему, в которых описываются все функциональные возможности, – схематический план станции (СПС) и таблица взаимозависимости (ТВЗ) в формализованном виде [2, 3]. Для определения условий безопасного функционирования систем ЭЦ целесообразно использование топологических формул, в которые введены следующие обозначения.

$A = \{a_1, a_2 \dots a_N\}$ – конечное множество элементов схематического плана станции, влияющих на безопасность движения поездов, включающее в себя подмножество S_i светофоров, подмножество S_w стрелок, подмножество T_s секций пути, подмножество T_r приемо-отправочных путей, подмножество T_d участков приближения, подмножество W систем, требующих оповестительную сигнализацию (переезды, пешеходные переходы, мосты, тоннели и др.), подмножество B упоров тормозных, подмножество U датчиков схода подвижного состава, подмножество G контрольно-габаритных устройств, подмножество C_s переключаемых секций контактной сети, подмножество C_d отключаемых секций контактной сети.

$$A = S_i \cup S_w \cup T_s \cup T_r \cup T_d \cup W \cup B \cup U \cup G \cup C_s \cup C_d,$$

$$N = [S_i] + [S_w] + [T_s] + [T_r] + [T_d] + [W] + [B] + [U] + [G] + [C_s] + [C_d].$$

Базовый набор функций безопасности (БНФБ) определен в нормативно-технической документации [4]. На основе СПС и ТВЗ авторы были разработаны алгоритмы создания полного и минимизированного набора функций безопасности (ПНФБ и МНФБ), а также для отображения проверок разработан электронный журнал испытаний (ЭЖИ) [5]. Информационная структура синтеза программ полной функциональной проверки показана на рисунке 1.

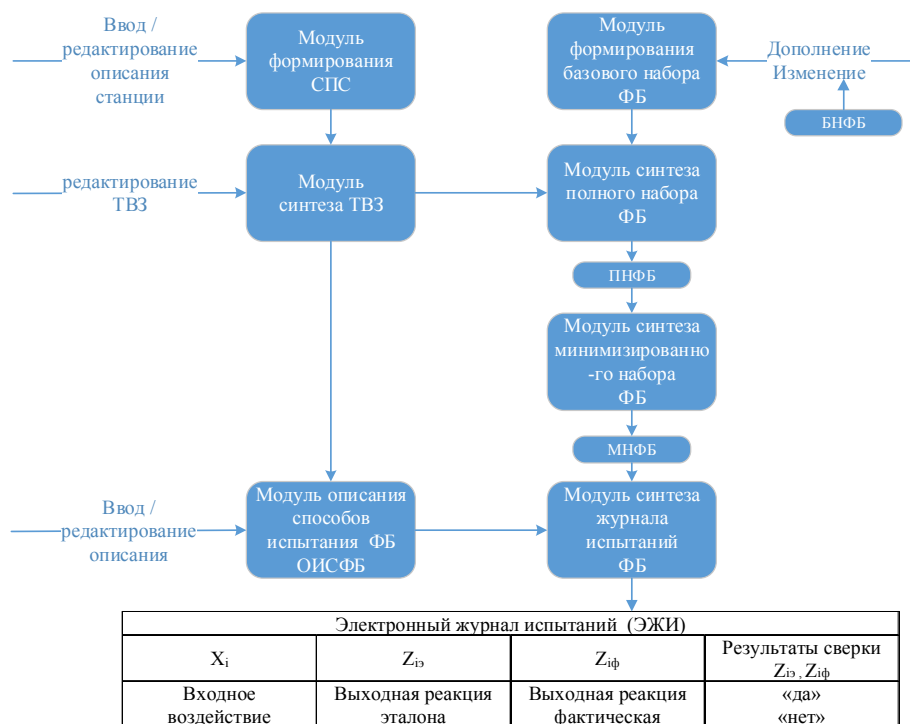


Рис. 1. Информационная структура синтеза программ полной функциональной проверки

Разработанные решения позволяют исключить человеческий фактор в составлении программ проверки и не упустить ни одно из условий безопасности, что является критичным для систем, отвечающих за безопасность движения поездов.

Литература

1. G. Theeg, S. Vlasenko (eds.). Railway Signalling & Interlocking: International Compendium. 2nd revised edition. PMC Media House GmbH, 2018. 458 p.
2. Sedykh D., Gordon M., Efanov D. Computer-Aided Design of Railway Signalling Systems in Russian Federation // Proceedings 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Москва, 15–18 мая 2018. С. 1–7. DOI: 10.1109/ICIEAM.2018.8728630

3. ГОСТ 33894-2016. Система железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля. М., 2017. 30 с.
4. Winter K., Johnston W., Robinson P., Strooper P., and Vanden Berg L. Tool Support for Checking Railway Interlocking Designs // Proceeding of the 10th Australian Workshop on Safety Related Programmable Systems (SCS'05). Australian Computer Science Communications, 2005. С. 101–107.
5. Седых Д.В., Василенко П.А., Гордон М.А. Отчет о выполнении научно-исследовательской работы: «Исследование методов автоматизации синтеза программ полной функциональной проверки систем ЖАТ». СПб.: ООО «ГК Имсат», 2019. 125 с.

STAGE OF SOFTWARE TESTING WITHIN THE METHODOLOGY SCRUM

E.A. Golovkova¹, K.I. Lopatina²

¹FSEI HPE «Angarsk State Technical Academy», Angarsk, Russia

²Head of testing department at ISPsystem company, Irkutsk, Russia
temnikova_ea@bk.ru

Currently, agile software development methodologies are gaining popularity among companies implementing work in the field of IT-technologies. The most popular of such methodologies is Scrum. Features of the organization of work on this methodology entail a number of difficulties that arise when implementing the testing phase in the workflow. The Scrum methodology is a multiple software development process, in which a number of consecutive releases are created for the software product with the gradual addition of the necessary functionality.

There is a certain set of principles and rules for building the entire development process. Scrum divides the workflow into fixed-in-time iterations, called sprints. At the end of the sprint, the user is provided with functioning software product with the changes introduced and added functionality. Each such iteration has a clearly stated goal and a corresponding set of tasks that are recorded in the sprint backlog, a project backlog for the project that is not limited and is to be implemented in the order given by the sequence [1]. Each member of the team organizing the work on the Scrum methodology has its own part: product owner, scrum-master, team members. The main artifacts in the Scrum methodology are work items, reports, books and dashboards.

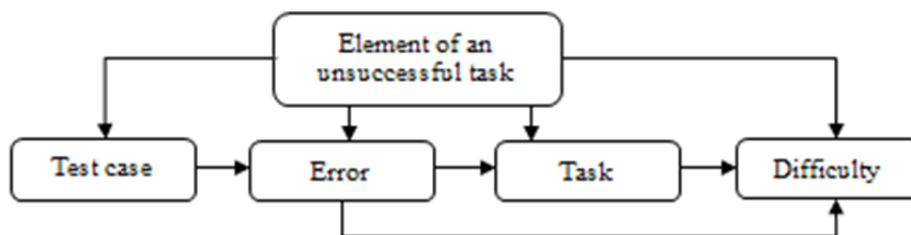


Fig. 1. Relationship between work items

The most important and perhaps the main task of the work on Scrum methodology is planning. Planning is carried out at the beginning of each sprint. Depending on the target vector of objectives, the tasks of the project are chosen from the project backlog for which the team of developers will be responsible for their execution at the time specified by the sprint. The success and correctness of planning directly depends on the feasibility of the sprint. Perhaps this is one of the key moments when working on the Scrum methodology.

In this article it is necessary to say about the tester that implements manual testing. For example, there is an N team working on the Scrum methodology, consisting of developers and testers, having a sprint backlog with a specific purpose, tasks, the implementation of which is planned on time. At the beginning of the sprint, lasting three weeks, the developers are busy implementing tasks that, after completion, will be sent to the Software Testing Department. What is busy at this time testing department, because the tasks for it are not ready?

This question is easy to answer. During the workflow, a tester that implements manual testing should write test scenarios and test cases. Sometimes their writing takes much more time than the testing process itself, but their availability makes it possible to form a good database of technical documentation for the software. To write test cases, it is not necessary to see the result of the task [2], therefore, according to the authors, the answer to the question will be the following decision: at the beginning of the sprint, the testing team can schedule writing test cases for all tasks of the current sprint. This will allow correctly distributing the team's working time, reducing the probability of downtime and costs [3], and also saving time for further testing of completed tasks. Another solution to the problem is the forced lag of the testers sprint from sprint developers. The essence of this theory is that the development team takes part in the sprint earlier than the testing team. As an example, you can take command N from the example above, where the length of the sprint was three weeks, then the lag of the testing process should be one week, which means that in the first week of the new sprint developers complete the last week of the previous sprint testers. This method may allow organizing work more flexibly and continuously, as well as reducing the lag development team from the scheduled time [4]. The proposed solution contradicts one of the rules of the Scrum methodology, which states that throughout the sprint the

whole team must be involved. While if we consider the testing department and the development department as two different teams interacting with each other, then this rule will not be violated.

Literature

1. Scrum and XP from the Trenches. 2nd Edition. URL: <https://coollib.net/b/184880/read#t132>.
2. Demin A.A., Karpunin A.A., Ganev Yu.M. Methods of verification and validation of complex software systems // Software products and systems. 2014. № 4.
3. Lopatina K.I., Temnikova E.A. The process of testing software in a team working on SCRUM // Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems. 2017. Is. 19. P. 52–56.
4. Mukminov V.A., Voinov Yu.V., Balandin A.V. New methods and algorithms for software testing // Dual technologies. 2011. № 2. P. 22–25.

ПРОГРАММА ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ

Е.А. Головкова, О.С. Наумова

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
temnikova_ea@bk.ru

Авторы разработали алгоритм оценки компетентности и качества подготовки учащихся вузов с учетом значимости компетенций, а также осуществили его программную реализацию.

Частная оценка сформированности компетенций учащегося в рамках одной дисциплины $K_{ik} = \sum_{j=1}^m b_j * q_t * Z_j$, где b_j – оценка усвоения j -й компетенции в баллах от 2 до 5 (2 – компетенция не усвоена; 3 – усвоена удовлетворительно; 4 – хорошо; 5 – отлично), q – весовой коэффициент (для общекультурных компетенций (ОК) $q_1 = 1$, общепрофессиональных (ОПК) $q_2 = 1,5$ и для профессиональных (ПК) $q_3 = 2$), k – порядковый номер дисциплины (берется из таблицы базы данных), i – порядковый номер студента (по списку), m – количество компетенций [1]. Средняя оценка сформированности компетенций для группы учащихся в рамках одной дисциплины определяется как: $K_{срк} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ik}}{n}$, где n – количество студентов в группе. Зная сумму всех $K_{срк}$, можно рассчитать суммарную оценку среднего показателя сформированности компетенций для группы учащихся по всем дисциплинам (Q). Средняя оценка успеваемости группы учащихся рассчитывается по формулам (где PK_{ij} – профессиональная оценка успеваемости i -ого учащегося по j -ой компетенции в рамках одной дисциплины (от 2 до 5 баллов), соответственно OK_{ij} – общекультурная оценка, OPK_{ij} – общепрофессиональная оценка):

$$PK_{срк} = \frac{\sum_{i=1}^n PK_{ij}}{n} * 2 * Z_j; \quad OK_{срк} = \frac{\sum_{i=1}^n OK_{ij}}{n} * 1 * Z_j; \quad OPK_{срк} = \frac{\sum_{i=1}^n OPK_{ij}}{n} * 1,5 * Z_j.$$

Суммарная оценка освоения компетенций $R = RPK + ROK + ROPK$, где RPK – усредненная оценка освоения профессиональных компетенций, ROK – усредненная оценка освоения общекультурных компетенций, $ROPK$ – усредненная оценка освоения общепрофессиональных компетенций. Значимость j -й компетенции (Z_j) предлагаем оценивать с привлечением экспертов методом анкетирования [2]. Им будет предложено произвести ранжирование от 0 до 1 с шагом 0,1 следующих характеристик для каждой компетенции: x_1 – профессиональная ориентация; x_2 – трудоемкость (количество часов на освоение компетенции); x_3 – связность (наличие междисциплинарных связей); x_4 – значимость (степень значимости в предметной области, т.е. в рамках дисциплины); x_5 – полезность (степень соответствия ЗУН специализации); x_6 – проверяемость (степень оценки ЗУН ФОС), где ЗУН – знания, умения, навыки; ФОС – фонд оценочных средств. На рис. 1 представлен фрагмент программы.

Код	Фамилия	Имя	Отчество	_ОК-1_	_ОПК-2_	_ОПК-3_	Кик
1	Амоголонова	Александра	Юрьевна	3	3	5	47,10
2	Гомбоева	Ирина	Сергеевна	4	5	3	50,70

		Значимость	
Сумма ОК-1	65	ОК-1 ср	9,75
Сумма ОПК-2	66	ОПК-2 ср	16,335
Сумма ОПК-3	62	ОПК-3 ср	14,415
		ОКср	9,75
		ОПКср	15,375
		Кср	40,5
		ОК-1	3
		ОПК-2	3,3
		ОПК-3	3,1

Рис. 1. Программная форма с промежуточными результатами оценивания

Литература

1. Темникова Е.А., Наумова О.С. Частная оценка сформированности компетенций учащихся вузов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Девятой Междунар. науч.-практ. конф., 10–13 апреля 2018 г., Иркутск: в 2 т. Иркутск: ИрГУПС, 2018. Т. 1. С. 456–460.
2. Полетайкин А.Н., Костенко А.В., Данилова Л.Ф. Определение значимости компонентов профессиональных компетенций по прикладной механике на основе фасетной классификации // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 2 (75). С. 81–89.

NAMING AND ROUTING SCHEMES FOR INFORMATION-CENTRIC NETWORKING

N.V. Patsei, G. Jaber

Belorussian State Technological University, Minsk, Belarus
n.patsei@belstu.by

Information-Centric networks (ICN) is a future architecture that aims to cache content objects in the network nodes or routers and allow the access to these contents from any location by ensuring in-network storage for caching contents, decoupling the content from the host address. The decoupling between publisher and subscriber removes the role of IP address, which works only as an identifier and locator and enabling multiparty communication through replication. Various projects like DONA, NDN, PURSUIT, SAIL, COMET, CONVERGENCE, MobilityFirst, PSIRP, CBCB, NetInf, KBN presented proposals in the ICN field in order to suit the new requirements including the effective distributions of contents [1–3]. Three ICN architectures (i.e. PURSUIT, SAIL, and Mobility First) use name resolution approach for their data routing. However, another three architectures (i.e. CBCB, NDN, and CONET) use name-based data routing.

In this work we survey the routing schemes ICN architectures mentioned above projects. It was revealed, that a number of challenges exists on the way of ICN architectures regarding the name resolution and data routing. The challenges include ensuring delivery of required content, detection of the nearest copy of required content, scalability, excessive current on routing tables, single point for failure, and finally, security and filtering. As a result, we propose a new routing scheme in this field – semantic routing scheme for ICN (SICN).

To design the new network architecture (SICN), a closer look for the types of data communication that should be taken into consideration. In this manner, we classify data transmission into four types based on the number of subscriptions and frequency of use of the data object. Another problem that resides in the proposed ICN schemes is the limitation to deal with knowledge searching.

Our ICN works on Publisher/Subscriber technique [4]. The publisher sends message include structure naming, and the subscriber sends message with his interest. The publisher has broker that transforms the informal language into formal and construct the naming then send it to the network. The network, in its turn, then makes routing according to SQL query found in the naming. And where it finds positive match it makes as a channel (matching) between publisher message and the subscriber interest.

The naming scheme is consisted of the following: IPv6: for dynamic terminal mobility and fast routing; semantic tree based address (128 bit) – it represents the content keywords; unique data address is the Publisher ID address; at least one address should be specified by the Subscriber his message [6].

Routing Scheme: each router holds a routing table that match Semantic keywords to geographical location of the nearest publisher or cache; each Record can be hold for a specific Time to Live (TTL); TTL is directly proportional to the number of subscribers and the frequency of Request.

In this way, our proposed naming scheme is based on three dimensions knowing that the user (publisher/subscriber) should label the data with least one dimension. As part of the work has been developed routing table structure and the caching policy used by SICN scheme.

Literature

1. Jaber G., Patsei N.V. Information centric networking for web-based content distribution and manipulation // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2017. № 2 (200). С. 88–91.
2. Vasilakos A.V., Li Z., Simon G. Information centric network: Research challenges and opportunities // J. Netw. Comput. 2015. Vol. 52. P. 1–10.
3. Jaber G., Patsei N., Rahal F. A Survey: Routing Schemes in Information-Centric Networks (ICN) // Scholars Journal of Engineering and Technology. 2019. № 7 (8). P. 229–234.
4. Patsei N., Jaber G. Routing Schem for Information-Centric Networking // 11th International Conference NEET. Lublin University of Technology, Lublin, Poland, June 25–28. 2019. P. 29.
5. Jaber G., Patsei N. Rahal F. Routing Challenges in Information-Centric Networking // «Applied Issues of Exact Siences» III International Scientific Practical Conference of graduate and postgraduate students, lectures, 1–2 November 2019, Armavir. 2019. P. 252–255.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ*

Л.В. Фомина¹, Е.А. Малахова¹, С.А. Безносюк², А.С. Фомин²,
Т.В. Раскулова¹, О.В. Лебедева³, Ю.Н. Пожидаев³

¹ Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

² Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
flvbaan@mail.ru, bsa1953@mail.ru, lebedeva@istu.edu

Водородно-воздушный топливный элемент с протонпроводящей полимерной мембраной (ППМ) – система, где газообразный водород окисляется на аноде, отдавая два электрона газодиффузионному слою (ГДС) и два протона в ППМ. Прошедшие через мембрану под действием электрохимического потенциала протоны соединяются на катоде с кислородом, образуя молекулу воды. На мембрану с обеих сторон нанесен катализатор, контактирующий с пористым волокнистым электроннопроводящим материалом (ГДС), в котором идёт подвод газообразных реагентов к мембране, отвод продуктов электрохимической реакции (воды) и токоём. Конструкцию из ППМ, катализатора и ГДС называют мембранно-электродным блоком (МЭБ). В мире ведутся разработки по совершенствованию структуры элементов МЭБ. Усилия авторов данной работы направлены на исследование строения и свойств сульфированных гибридных органо-неорганических ППМ, характеризующихся значительными термостойкостью, механической прочностью, протонной проводимостью, невысокой стоимостью.

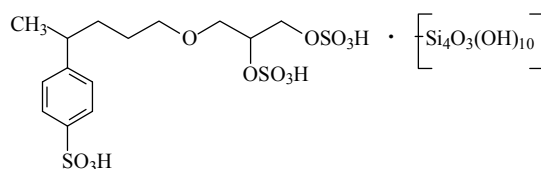


Рис. 1. Фрагмент органо-неорганического композита со звеньями ССт, АДК и диоксида кремния $\text{Si}_x\text{O}_y(\text{OH})_z$.

Для описания электропроводящих свойств ППМ, полученных на основе тетраэтоксисилана и сополимеров со звеньями стиролсульфонокислоты (ССт) и 1-(аллилокси)-пропан-1,2-дисульфоновой кислоты (АДК) [1], выполнено компьютерное моделирование и математический расчёт органо-неорганического композита, состоящего из 78 атомов (рис. 1). С помощью пакета программ Orca методом функционала плотности Becke/Perdew (BP) в базисном наборе def2-SVP, с учетом энергии нулевых колебаний [2] рассчитаны оптимизированные локальные структуры сопряжения неорганического блока $\text{Si}_x\text{O}_y(\text{OH})_z$ с блоком ССт–АДК. Метод BP86, в сочетании с базисным набором def2-SVP и опцией ускорения вычислений посредством аппроксимации кулоновских интегралов остовных электронов (RIJ), повышает производительность, сохраняя точность вычислений. Оптимизация геометрии структур композита проведена методом аппроксимации вычисления интегралов кулоновских и обменных взаимодействий RIJK. При 295 К и 1 атм рассчитаны электронная и внутренняя энергии, энтальпия и свободная энергия Гиббса для трёх вариантов сочетания органического и неорганического блоков в композите: 1) комплекс только за счёт сил Ван-дер-Ваальса; 2) супрамолекулярная структура композита за счёт водородных связей; 3) ковалентно связанная структура с водородными и Ван-дер-Ваальсовыми взаимодействиями. Из-за самоорганизации дендритной конфигурации блока $\text{Si}_x\text{O}_y(\text{OH})_z$ в ринговую при формировании композита в его структуре происходит «выброс» одной молекулы H_2O с образованием межмолекулярных водородных связей и сохранением брутто-формулы рассчитываемых моделей композита. За счёт взаимодействия сульфатной группы АДК и гидроксильной группы диоксида кремния в ковалентно связанных посредством атомов С–О–Si структурах дополнительно образуется одна «свободная» молекула H_2SO_4 . Найденные численным методом особенности строения ППМ объясняют рост их протонной проводимости в сравнении с сополимером ССт–АДК.

Литература

1. Лебедева О.В. и др. Ионнообменные мембраны на основе сульфированных сополимеров стирола с аллилглицидиловым эфиром и диоксида кремния // Мембраны и мембранные технологии. 2017. Т. 7, № 4. С. 247–254.
2. Neese F. The ORCA program system. Wiley interdisciplinary Reviews // Comput. Mol. Sci. 2012. Vol. 2, Is. 1. P. 73–78.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-58-45011, 18-08-00718).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КРЫЛЬЧАТКИ ОТ РАСХОДА ВОДЫ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ

Б.О. Кустов, Н.М. Кустова, А.В. Бальчугов

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
email: balchug@mail.ru

В патенте [1] предложен способ интенсификации теплопередачи за счет вращения теплообменной трубки с помощью кинетической энергии потока жидкости. Внутри трубки жестко крепится плосколопастная крыльчатка, которая вместе с трубой приводится во вращение потоком жидкости. Вращение теплообменных труб приводит к турбулизации потоков жидкости. Чем выше частота вращения теплообменной трубы с крыльчаткой, тем выше турбулентность потока. В связи с этим актуальным является установить зависимость частоты вращения крыльчатки от расхода жидкости по трубе. Методика расчета данной зависимости основана на уравнении движения крыльчатки в установившемся режиме, которое имеет вид [2]:

$$M_{\delta} = M_n + M_y + M_{mp} + M_m, \quad (1)$$

где M_{δ} – движущий ротор момент, Н·м; M_n – момент трения в подшипниках, Н·м; M_y – момент трения в уплотнениях, Н·м; M_{mp} – момент вязкого трения между вращающейся трубой и потоком, Н·м; M_m – момент вязкого трения между вращающимся ротором и потоком, Н·м. Исходные данные: длина трубы $l=0,2$ м; объемный расход воды через трубу $V=0,5-2$ м³/ч, температура 20°С, коэффициент кинематической вязкости $\nu=10^{-6}$ м²/с; высота лопасти $h_l=0,0085$ м; установочный угол ротора $\beta_p=45^\circ$; ход винтовой поверхности $H=0,081$ м; число лопастей $z=8$; среднеквадратичный диаметр ротора $D=0,0259$ м.

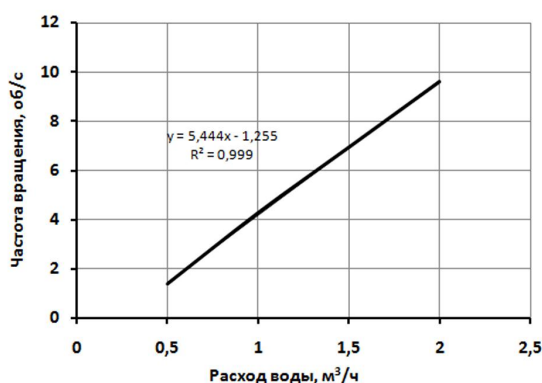


Рис. 1. Зависимость n - V

Входящие в уравнение (1) величины рассчитывали по уравнениям из работ [2–7]:

$$M_{\delta} = \pi \cdot \rho \cdot C \cdot V \cdot D^2 \cdot \left(\frac{V}{S \cdot H} - n \right), \quad (2)$$

$$M_n = \mu \frac{P \cdot D_n}{2}, \quad (3)$$

$$M_m = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \lambda \cdot l_n \cdot J \cdot V^2}{H \cdot S^2 \cdot \sin^2 \beta_p}, \quad (4)$$

$$M_{mp} = \frac{\rho \cdot \lambda \cdot r_{mp} \cdot F_{mp} \cdot V^2}{2 \cdot S_{mp}^2 \cdot \sin^2 \beta_p}, \quad (5)$$

$$M_y = \pi \cdot \frac{D_n^2}{2} \cdot l' \cdot f_y \cdot p_r', \quad (6)$$

где ρ – плотность, кг/м³; C, J – коэффициенты; V – объемный расход воды, м³/с; S – площадь живого сечения потока в плоскости, перпендикулярной оси ротора, м²; n – частота вращения ротора, об/с; p_r' – контактное давление; f_y – коэффициент трения в уплотнении; l' – длина контактной линии уплотнения с трубой при избыточном давлении в трубе $p=0$ ат; P – эквивалентная нагрузка на подшипник, Н; λ – коэффициент трения. Результаты расчета по уравнениям (1–6) представлены на рис. 1. Видно, что зависимость имеет линейный характер. С помощью лицензионной программы Excell получено уравнение зависимости частоты вращения крыльчатки от расхода воды: $n = 5,444 \cdot V - 1,255$. Величина достоверности аппроксимации составляет $R^2=0,999$. Данное уравнение можно использовать при проектировании теплообменников с вращающимися трубами.

Литература

1. Бальчугов А.В., Кустов Б.О., Бадеников А.В. Аппарат воздушного охлаждения. Патент на изобретение РФ №2705787. Приоритет от 24 июля 2019г.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
3. Бобровников Г.Н., Камышев Л.А. Методическое руководство к лабораторной работе по курсу «Заправочные системы». М.: МГТУ, 1972.
4. Бошняк Л.Л., Бызов Л.Н. Тахометрические расходомеры. Л.: Машиностроение, 1968. 212 с.
5. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения. М.: Машиностроение, 1992. 608 с.
6. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор. М.: Машиностроение, 1983. 543 с.
7. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства. Л.: Машиностроение, 1973. 232 с.

ТРЕНАЖЕРНЫЕ МОДЕЛИ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНИНГ ОПЕРАТОРОВ ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

М.В. Кривов¹, А.Г. Колмогоров¹, В.Ю. Кобозев¹, Н.С. Благодарный²

¹ Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия
vmk@angtu.ru

Складирование и транспортировка сжиженных углеводородных газов (СУГ) относится к взрывопожароопасным производствам первой категории и законодательно требует специальных средств подготовки оперативного персонала на базе компьютерных тренажерных комплексов (КТК). Методология синтеза КТК для такого типа установок включает разработку автоматизированного рабочего места оператора-технолога, имитирующего человеко-машинный интерфейс (НМИ) реальной, управляющей производством, распределенной системы управления, математической модели технологического процесса, моделей технических средств управления и системы противоаварийной защиты, автоматизированного рабочего места инструктора [1].

Тенденции рынка КТК выявили необходимость присутствия в них автоматизированной обучающей системы (АОС), реализующей функции по самостоятельному обучению и оценке действий оператора. Данная система позволяет организовать полноценный процесс самостоятельной подготовки операторов технологических процессов без привлечения инструкторов с возможностью автоматического самоконтроля. На практике этот компонент КТК представляет своего рода экспертную систему, позволяющую имитировать заранее заданную, либо случайную ситуацию на симулируемом в тренажере технологическом процессе, а затем с помощью интеллектуальных методов оценить степень соответствия действий оператора эталонному поведению, регламентированному инструкциями и технической документацией. Логика работы АОС должна быть расширяемой и адаптивной. В качестве интеллектуального ядра АОС выступают сценарии на языке высокого уровня, транслируемые в MSIL-инструкции во время исполнения и встраиваемые в код основной сборки кода КТК [2]. Систематизированные по тренировочным упражнениям сценарии АОС хранятся в базе данных и, по запросу менеджера сессий тренинга, в форме списка предоставляются среде исполнения. Прозрачность для сценария окружения хост-приложения позволяет из кода сценария изменять переменные состояния моделей, внося изменения в режим работы симулируемого технологического процесса, а также получать доступ и отслеживать характер изменения по переменным, отражающим ход технологического процесса.

Тренажерная модель, лежащая в основе КТК для процесса складирования СУГ, представляет собой полномасштабную динамическую математическую модель, граф состояний которой учитывает всевозможные режимы работы КТК, включая режимы «холодного» старта установки, нормального функционирования, планового останова, а также ряд состояний, связанных с нештатными ситуациями (пожар, разгерметизация оборудования, теракт и т.п.) на объекте. Особенностью математического описания подобного объекта является необходимость учета в модели фазовых переходов в гетерогенных многокомпонентных системах, связанных с технологическими особенностями процесса хранения СУГ.

Принципиальной позицией авторов является реализация симулятора технологического процесса на базе аналитической модели материальных и тепловых балансов технологических объектов в форме системы алгебро-дифференциальных уравнений, число которых может достигать до тысячи из-за развитой гидравлической схемы склада СУГ. Но, как показывает практика промышленных внедрений, данный подход демонстрирует высокую гибкость и эффективность в целях обеспечения требуемой адекватности результатов моделирования реальному процессу.

Важным подходом при моделировании является динамический синтез структуры тренажерной модели КТК [3]. При этом подходе конфигурация модели создается в специальном графическом редакторе, а при ее инициализации формируется вычислительное ядро модели на базе динамической связи классов описания аппаратов, узлов и потоков между собой.

Областью дополнительных исследований для авторов является задача поиска эффективных вычислительных схем для моделей, снижающих требования к аппаратному обеспечению сервера КТК, а также оптимизацию сетевого трафика в многопользовательских режимах эксплуатации КТК.

Литература

1. *Patle D.S., Ahmad Z., Rangaiah G.P.* Operator training simulators in the chemical industry: Review, issues, and future directions // *Rev. Chem. Eng.* 2014. № 30. P. 199–216.
2. *Кривов М.В., Ульянова А.В.* Применение встроенного транслятора сценариев в автоматизированной обучающей системе тренажерных комплексов // *Современные технологии и научно-технический прогресс: тезисы докладов междунар. науч.-технич. конф. им. проф. В.Я. Баденикова.* Ангарск: АнГТУ, 2019. С. 150–151.
3. *Кривов М.В., Благодарный Н.С., Кобозев В.Ю.* Динамический структурный синтез тренажерных моделей // *Сб. науч. трудов Ангарского государственного технического университета.* Ангарск: АнГТУ, 2016. № 1. С. 131–138.

КОНЦЕПЦИЯ ОБРАЩЕННОЙ QA-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

А.В. Блинков¹, К.В. Збыковский²

¹ АО «ПФ «СКБ Контур», Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
9074@mail.ru, k.v.zbykovsky@urfu.ru, zbykovsky@mail.ru

Моделирование бизнес-процессов предпринимательской деятельности – широко используемая область информационных технологий. Наиболее часто представлена методика функционального моделирования в нотации IDEF0 на примере управления бизнес-процессами на уровне предприятия. В общем виде при детализации и декомпозиции модели более чем на три уровня результирующая модель описания всей системы взаимосвязей оказывается весьма сложной, многоуровневой, многосвязной. Это объективно ставит границы дальнейшему расширению или анализу описания.

Другой подход к компьютерной поддержке моделирования бизнес-процессов – использование вопросно-ответных QA-систем, способных принимать вопросы и отвечать на них на естественном языке. Так, например, интеллектуальная метапоисковая система *Exactus* [1] позволяет ввести завершенную фразу, описывающую интересующую пользователя ситуацию или вопрос на естественном языке в том виде, в каком его задал бы собеседнику человек. Однако, современные вопросно-ответные системы обеспечивают выдачу множества разных типов информации в виде веб-страниц, документов, изображений, видео, новостей и карт, но до сих пор не в состоянии в полной мере распознавать запросы на естественном языке и формировать ответы в соответствующем формате [2].

В данной работе предлагается инновационный подход к построению архитектуры QA-систем применительно к сфере моделирования решения предпринимательских задач. Источником знаний для QA-системы будет являться формальное описание бизнес-модели (далее – Формальная модель ситуации) в виде предпринимательских case-ов, а архитектура QA-системы инвертируется (рис.1) в том смысле, что не человек задает машине вопрос, и она формирует ответ для него, а наоборот – машина задает вопросы владельцу бизнес-процесса.

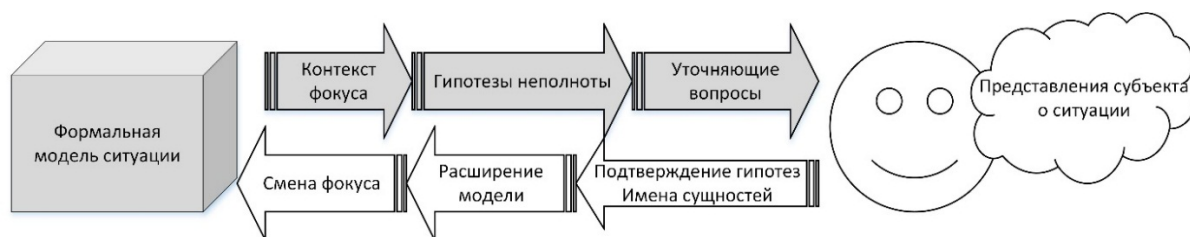


Рис. 1. Принципы работы IQAS

Базовая информация в создаваемой IQAS (Inverted Question-answering system) – представления пользователя, а не компьютерная экспертная база данных. Формальная модель ситуации оказывается не базой для ответов, а результатом ответов пользователя и базой для вопросов. Вопросы формулируются на основе шаблонов, конкретику которым придают имена добавленных и/или измененных сущностей из формальной модели ситуации, то есть уже упомянутые ранее пользователем названия.

Алгоритм анализа полученной формальной модели ситуации должен строиться на основе иерархии формальных условий – требований к ее внутреннему логическому описанию.

В перспективе предполагается расширение внутренней логики системой правил трансформации формальной модели. Гипотезы неполноты в результате дополняются гипотезами преобразования. В конечном итоге диалог по

описанию модели «as is» системы должен будет переходить в диалог по формированию модели «to be». И тем самым выводить предпринимателя на новаторские, инновационные решения в своей профессиональной области.

На основе IQAS предполагается разработка инновационной технологии для внедрения в учебный процесс вуза с целью развития творческого мышления. Технология могла бы дополнить и другие практико-ориентированные методики, представленные, например, в [3].

Литература

1. Exactus. Интеллектуальный метапоиск в Интернете. ИСА РАН. URL: <http://exactus.ru/> (дата обращения: 10.01.2020).
2. Беляев С.А., Кулешов А.С. Формирование вопросно-ответной системы в условиях ограниченного объема семантически размеченного корпуса // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2016. № 4.
3. Zakharova G.B., Krivonogov A.I., Kruglikov S.V., Petunin A.A. The energy-efficient technologies in the educational program of the architectural higher school. В сборнике: Computer Science and Information Technologies (CSIT'2017). Proceedings of the 19th International Workshop. 2017. С. 195–199.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА ОТ КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.А. Семёнов

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
ivansemenov@yandex.ru

В химической технологии одной из причин низкой эффективности некоторых процессов тепло- и массообмена является наличие вблизи поверхности раздела тонкого пограничного слоя. Особенность такого слоя – низкие скорости движения потока вещества, что, в свою очередь, затрудняет перемещение тепла или массы от поверхности раздела в основной поток. Одним из способов повышения интенсивности процессов в этом случае является создание колебаний передающей поверхности.

В рамках данной работы было произведено моделирование процесса массоотдачи от колеблющейся твердой поверхности с целью выявления механизма и влияния различных факторов на процессы массо- и теплообмена в данных условиях.

Для построения математической модели был изучен процесс массоотдачи твердого нафталина от колеблющейся поверхности конической формы в поток воздуха [1]. На основании полученных экспериментальных данных была сформирована математическая модель процесса в среде AnSYS, на которой и проводились дальнейшие эксперименты.

В ходе исследования было выявлено, что при колебании твердой поверхности в газовой среде образуется нестационарное течение отрывного типа, которое в среднем по времени направлено от этой поверхности вглубь среды. С учетом нестационарного гидродинамического режима вблизи поверхности это приводит к невозможности образования ламинарного пограничного слоя, и, как следствие, к существенному повышению интенсивности процесса вблизи поверхности массообмена.

Проведенные расчеты показали, что на скорость процесса массоотдачи в изучаемом процессе оказывают влияние прежде всего скорость возникающего течения. При этом, путем статистической обработки экспериментальных и расчетных данных была получена следующая зависимость эффективности массоотдачи от параметров процесса:

$$\beta \sim A^{1.21 \pm 0.07} \cdot f^{1.1 \pm 0.1} \cdot D^{0.04 \pm 0.07} (\cos \alpha)^{0.9 \pm 0.3},$$

где β – коэффициент массоотдачи, м/с; A – амплитуда колебаний, м; f – частота колебаний, Гц; D – коэффициент молекулярной диффузии; α – угол между вектором нормали к поверхности и направлением колебаний.

Из полученного выражения видно, что основное влияние на эффективность массоотдачи оказывают прежде всего амплитуда и частота колебаний, причем степени их влияния довольно близки. При этом, диффузионные свойства среды практически не оказывают влияния на процесс массоотдачи.

При обработке аналогичных данных для жидкости [2] было выявлено, что полученный вывод о слабом влиянии коэффициента диффузии на процесс массоотдачи справедлив только для газообразных сред.

В ходе моделирования было отмечено, что возникающая вблизи вибрирующей поверхности гидродинамическая картина по своему характеру аналогична движению среды при развитой турбулентности. Применяя подходы, используемые для описания скоростей турбулентных пульсаций, и теорию размерности, удалось получить безразмерный комплекс величин I , характеризующий подобие протекающих явлений:

$$I \equiv (\beta / \cos \alpha)^2 \cdot l / (\nu \cdot A \cdot f),$$

где l – характерный линейный размер, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с.

Обработка данных показала, что наиболее точное описание процесса удалось получить при использовании в качестве характерного размера l амплитуды колебаний A и критерия Рейнольдса, определяемого как $Re \equiv f \cdot A^2 / \nu$.

Полученная математическая модель позволила не только изучить механизм процесса массоотдачи от колеблющейся твердой поверхности, но и получить зависимость скорости массопереноса от различных параметров процесса, включая коэффициент диффузии, значение которого достаточно трудно варьировать в процессе экспериментальных исследований.

С учетом аналогии процессов массо- и теплообмена, можно обоснованно предположить, что полученные в данной работе выводы окажутся справедливыми и для процесса переноса тепла от колеблющейся поверхности.

Литература

1. Семёнов И.А., Ульянов Б.А., Фереферов М.Ю., Кулов Н.Н. Влияние вибраций твердой поверхности на процесс массоотдачи // Теоретические основы химической технологии. 2017. Т. 51, № 5. С. 485–490.
2. Семёнов И.А., Ульянов Б.А., Кулов Н.Н. Экспериментальная оценка влияния колебаний на скорость массоотдачи от плоской поверхности // Теоретические основы химической технологии. 2016. Т. 50, № 3. С. 239–244.

ЭНТРОПИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНИ ОТ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ*

М.П. Дьякович

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
maginapinhas@yandex.ru

Проблема вибрационной болезни (ВБ) является актуальной во всех индустриально развитых странах [1]. Ее удельный вес в РФ составляет более 30% от всех вновь выявленных случаев профзаболеваний [2]. Ранняя дифференциальная диагностика указанного заболевания имеет большое народно-хозяйственное значение. При этом работ, касающихся математического моделирования развития ВБ, крайне мало [3].

Настоящие исследования касались использования информационно-энтропийного моделирования для прогнозирования формирования ВБ. Оно выполнено на информационном массиве персонализированных показателей функциональных систем организма работников авиастроительного предприятия, подвергающихся воздействию локальной вибрации. Массив результатов клинических исследований, был предоставлен для модельных исследований сотрудниками Восточно-Сибирского института медико-экологических проблем (ФГБНУ ВСИМЭИ). В качестве показателя вибрационного воздействия использовалась величина, представляющая собой кратность превышения предельной стажевой дозы вибрации (СДВ).

Величина вклада СДВ в развитие ВБ определялась при сравнении величин безусловной и условной энтропий, разность между которыми давала оценку уровня зависимости развития ВБ от влияющего фактора. Разработка вариантов информационно-энтропийной модели, их верификация осуществлялись при участии д.т.н. Зоркальцева В.И. В качестве признаков возможности заболевания могут использоваться разные медико-биологические показатели и их комбинации. Возможные варианты наборов значений таких показателей использовались для построения вариантов модели прогноза заболевания. Анализировались параметры электрической активности мозга (ЭАМ) и параметры, характеризующие состояние тиреоидной и гипофизарно-надпочечниковой систем (ТГНС).

Установлено, что комбинация параметров указанных систем привносит дополнительную информацию, уменьшая энтропию. С ростом СДВ наибольший вклад в формирование ВБ вносили патологические параметры основной активности головного мозга и тиреоидной системы (82,6%), основной активности головного мозга и дисфункции стволовых структур (76,2%), тиреоидной системы и дисфункции стволовых структур (70,9%). Комбинации параметров центральной нервной и эндокринной систем повлекли за собой увеличение эквивокации системы и увеличение различий между коэффициентами избыточности в состоянии нормы и патологии. Согласно [4] под надежностью биологической системы подразумевается ее способность противостоять эндо- и экзогенным воздействиям, поэтому вопросу изучения указанных свойств модели в дальнейших исследованиях надо уделить пристальное внимание.

Результаты энтропийного моделирования формирования ВБ согласуются с теорией сенсорного конфликта при воздействии физических факторов, разработанной в ФГБНУ ВСИМЭИ. Таким образом, исследования показали возможность успешного использования энтропийного моделирования в медицине труда. Модель дает возможность анализировать параметры функциональных систем организма, отвечающих на

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 17-41-380005.

воздействие локальной вибрации, что позволит в дальнейшем объективизировать прогноз развития ВБ и рационализировать диагностический процесс. Учитывая, что располагаемые для моделирования параметры функциональных систем организма не могут полностью отражать клиническую картину формирования ВБ, необходим дальнейший поиск объясняющих, информативных параметров, что позволит повысить адекватность, точность и чувствительность модели при их включении.

Литература

1. Heaver C, Goonetilleke K, Ferguson H, Shiralkar S. Hand-arm vibration syndrome: a common occupational hazard in industrialized countries // J Hand SurgEur. 2011. Vol. 36, № 5. P. 354–363.
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году». URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno_epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018-godu.pdf (дата доступа: 05.01.2020).
3. Ласткова Н.Д. Прогнозирование тяжести вибрационной болезни с учетом экспозиционной дозы вибрации и состояния периферической нервной системы// Медицина сегодня и завтра. 2013. № 3 (60). С. 98–102.
4. Автандилов Г.Г., Яблчанский Н.И., Губенко В.Г. Системная стереометрия в изучении патологического процесса. М.: Медицина, 1981. 191 с.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КРОВЕЛЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.И. Поляков, А.В. Карталов, В. Балык

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия
Ai.Quadro@yandex.ru

Строительная экспертиза зданий и сооружений является частью добросовестной эксплуатации. По прохождении времени конструкции, являющиеся несущими или ограждающими, изнашиваются и ветшают. Наблюдается понижение механических, прочностных и ухудшение эксплуатационных параметров элементов зданий. Отступление от соблюдения технологии, необоснованный выбор материалов, их характеристики и изменение этих характеристик в течение всего времени эксплуатации могут являться причинами износа кровли. Во время проведения регулярных осмотров кровли вероятность появления дефектов снижается. Сезонные экспертизы предназначены для нахождения мелких дефектов и их своевременного устранения.

К дефектам поверхности кровельного полотна относятся:

- отсутствие защитного слоя (полное или частичное);
 - растрескивания кровельного полотна;
 - вздутия;
 - состояние заплаток от предыдущего ремонта и наличие отслаиваний полотен рулонного материала в местах их накладывания друг на друга;
- и другие.

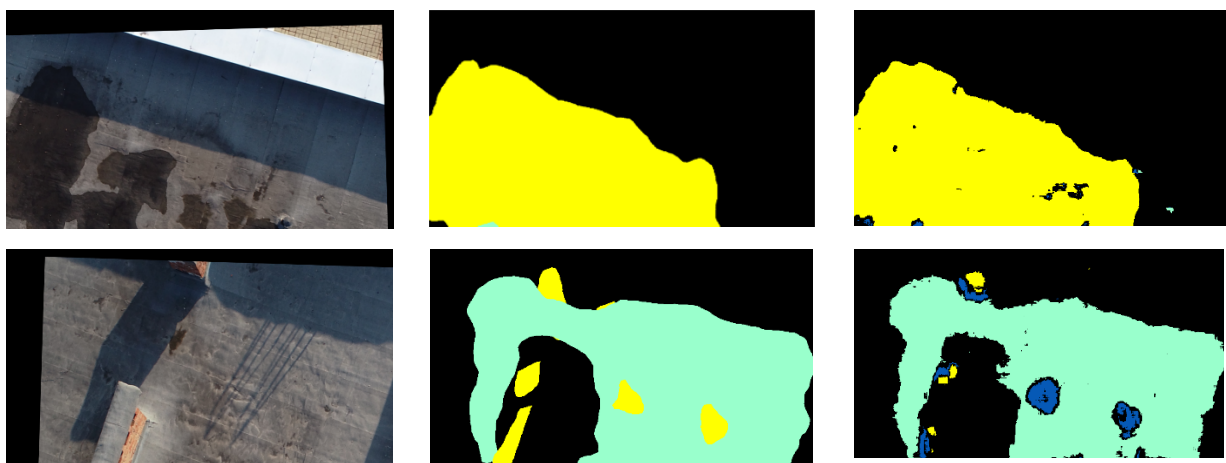


Рис. 1. Примеры сегментации дефектов кровли глубокой сверточной нейронной сетью. Слева – входное цветное изображение, в центре – эталонная сегментация, справа – результат работы нейронной сети

В мире современного производства и жилищнокоммунального хозяйства немаловажную роль играет своевременное осуществление обслуживания и ремонта кровель зданий и сооружений, со временем разрушающихся под воздействием окружающей среды. Гарантом успешной и продуктивной работы служб технического аудита зданий и сооружений является циклический, полномасштабный мониторинг характеристик технического состояния кровель.

В настоящей работе предложен подход для выявления дефектов кровли, на основе которого разработан программно-аппартный комплекс, состоящий из программного обеспечения и устройства для получения фотоматериала.

Цветные аэрофотоснимки получаются с помощью беспилотного летательного аппарата. В дальнейшем оригинальная программа распознавания выявляет на них сегменты, содержащие дефекты. Для каждого из полученных сегментов определяются площадь и периметр, которые сохраняются в xml-файлы, также в файл сохраняется и результат сегментации в виде полутонового изображения. Эти данные могут быть в дальнейшем использоваться на этапе составления сметной документации для проведения требуемого ремонта кровли [1].

В качестве основной технологии, обеспечивающей распознавание и классификацию дефектов плоских рулонных кровель, была применена технология искусственных нейронных сетей. Сверточные нейронные сети дают частичную невосприимчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и другим искажениям [2]. В ходе проведения исследования по созданию алгоритма сегментации дефектов кровли создан набор данных, содержащий 1618 размеченных вручную изображений. Разметка производилась полигональными областями с помощью открытого инструмента OpenCV CVAT.

Литература

1. Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 61–69.
2. Юдин Д.А., Патракова Е.Д. Применение полностью сверточной нейронной сети для сегментации дефектов кровли на изображении // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт. 2018. С. 19–23.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПАКЕТА ДОКУМЕНТОВ НА ПОЛУЧЕНИЕ КРЕДИТА В УПОЛНОМОЧЕННЫХ БАНКАХ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ

А.Б. Шамардин, А.Д. Шамардин

ООО «Строительная компания “Дальпитерстрой”», Санкт-Петербург, Россия
an.shabo@yandex.ru

С июля 2019 г. действует Федеральный закон от 25.12.2018 N 478-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации”». Закон предусматривает реформу долевого строительства: застройщики должны перейти на новую модель работы – проектное финансирование, когда для строительства жилья используются собственные или заемные средства, а средства дольщиков хранятся на эскроу-счетах.

В условиях проектного финансирования долевого строительства жилья через уполномоченные банки для инвесторов и технических заказчиков на передний план выходят новые задачи – в максимально короткий срок разработать пакет документов, необходимых для обоснования кредита, контроля банков за ходом строительства и для отчета технического заказчика перед банками в процессе строительства. Наиболее приемлемым для этого является пакет документов с разработкой BIM 3D-моделей с визуализацией внешнего облика здания, BIM 4D-моделей управления строительством здания и BIM 5D-моделей финансирования строительства в процессе реализации инвестиционных проектов.

Любое здание, его внутренние и наружные сети состоят из набора линейных, плоскостных и объемных конструктивных элементов, связанных между собой в пространстве координатами x , y , z , положение и величина которых меняется в процессе строительства с изменением времени t и стоимости выполненных работ c . Любой элемент здания или инженерных сетей в процессе строительства можно описать уравнением

$$F(x, y, z, t, c) = 0. \quad (1)$$

Сумма всех задач, описанных уравнением (1), дает возможность разработать цифровые информационные модели всего процесса строительства здания, которые является основой для построения всех BIM-моделей необходимых для управления строительством, от разработки 2D-моделей рабочих чертежей до разработки 5D-моделей финансирования строительства.

Хранение информации для разработки BIM-моделей осуществляется в матричном виде. Для здания создается сводная цифровая информационная матричная модель, состоящая из элементарных цифровых матричных моделей. Например, для здания, имеющего f этажей и s секций, элементарной информационной цифровой матричной моделью, в общем случае, будет двухмерная прямоугольная матрица $A(a_{ij})$ размера $f \times s$, где f – количество строк матрицы; s – количество столбцов матрицы.

Для создания BIM-моделей комплекса задач управления строительством и движения денежных средств разрабатывается алгоритм программного обеспечения для базового набора строительно-монтажных работ, связанных в технологической последовательности:

1. На основании базового набора работ разрабатывается блок исходных данных, которые остаются постоянными в процессе проектирования и строительства;

2. Разрабатывается блок цифровых моделей расчетных исходных данных в матричной форме. Значения элементов матриц определяются по существующим нормам, которые в дальнейшем используются в программах расчета на языке C++ для определения объемов работ, затрат труда, стоимости выполняемых работ и прочностных расчетах железобетонных конструкций в соответствии с требованиями норм СП [1];

3. Разрабатываются цифровые модели и программы на языке C++ для расчета объемов работ и основных конструктивных элементов здания;

4. На основании опыта работы организации получены укрупненные нормы затрат труда Nw_i и стоимости Nc_i на основные виды строительно-монтажных работ;

5. На основании принятых норм затрат труда Nw_i разрабатывается график производства работ – 4D-модель управления строительством с использованием данных элементарных цифровых моделей в ProjectLibre-1.9.1.

6. На основании принятых норм стоимости работ Nc_i разрабатывается 5D-модель финансирования строительства и график движения собственных и заемных денежных средств на стадии «Проект»;

Разрабатываемыми комплекс программ позволяет в максимально короткий срок принять обоснованные объемно-планировочные решения жилых зданий в рамках жестких требований проектного финансирования на стадии «Проект» и сформировать пакет документов для уполномоченных банков для получения кредита.

Литература

1. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2004. 26 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА МЕТАНА

Б.Р. Исмаилов, Ж.Д. Изтаев, Х.Б. Исмаилов

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан
ismailb@mail.ru

Большинство известных математических моделей каталитического пиролиза не учитывает скорость изменения концентрации промежуточных радикалов в течение времени процесса. Между тем, например, скорость трансформации концентрация CH в цепочке изменений концентраций радикалов самая низкая [1–2], чем и лимитируется общая скорость процесса. Поэтому, в данной работе в основную систему дифференциальных уравнений изменения концентраций [2] введены эмпирические члены $\alpha_{i-1}C_{i-1}, \beta_{i+1}C_{i+1}$, учитывающие скорости изменения двух «соседних» радикалов:

$$1. \frac{\partial C_i}{\partial t} + v_1 \frac{\partial C_i}{\partial x} = D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial r^2} + \frac{D_i}{r} \frac{\partial C_i}{\partial r} + \alpha_{i-1} C_{i-1} + \beta_{i+1} C_{i+1} + J_i, \quad (1)$$

$$C_i(t = 0, x, r) = C_i^0(x, r), \quad (2)$$

$$C_i(x = 0, r) = C_i^L(r), \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \quad (4)$$

$$D_i \frac{\partial C_i}{\partial r} \Big|_{r=0} = \sum_{j=1}^{M_2} v_j^j W_j, x = l_{ap} / 2, \quad (5)$$

$$D_i \frac{\partial C_i}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0 \text{ если } x \neq l_{ap} / 2, \quad (6)$$

$$D_i \frac{\partial C_i}{\partial r} \Big|_{r=D_{ap}/2} = 0, \quad (7)$$

где l_{ap} , D_{ap} – длина и диаметр аппарата, м; C_i^0 – начальная концентрация газового компонента на входе в реактор, моль/м³; $\sum_{j=1}^{M_2} \nu_j^i W_j$ – сумма скоростей образования и расходования i -компонента газовой фазы по реакциям, протекающим на поверхности катализатора, моль/(м³·с); ν_j^i – стехиометрический коэффициент i -компонента газовой фазы для j -поверхностной реакции; W_j – скорость j -поверхностной реакции, моль/(м³·с); (1) – система уравнений для концентраций газовых компонентов с членом, учитывающим влияние концентраций промежуточных радикалов; (2) – начальные условия; (3), (4), (5), (6), (7) – граничные условия, учитывающие приток реагентов в аппарат вместе с исходной смесью, приход-уход газофазных компонентов в результате реакций на катализаторе, расположенного в центре аппарата. Коэффициенты α_{i-1} и β_{i+1} в первом приближении определены из экспериментов [1–2]. Задача (1)–(7) нами решена численно для одномерного случая, найдены распределения концентрации углерода и водорода по длине аппарата в системе с катализатором Ni/MgO .

Литература

1. Елецкий В.А. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // УФН. 2002. Т. 172, № 4. С. 401–414.
2. Раков Э.Г. Пиролитический синтез углеродных нанотрубок и нановолокон // Рос. хим. ж. 2004. Т. 48, № 5. С. 12–20.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ПРОЕКТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ*

Н.Г. Кудрявцев, А.Ю. Гвоздарев, Д.В. Кудин, Е.О. Учайкин, А.А. Темербекова

Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск, Россия
tealbina@yandex.ru, ngkudr@mail.ru

Проектный подход позволяет повысить эффективность учебного процесса и научно-исследовательской деятельности студентов за счет теоретических знаний и умений, применяемых при реализации учебных и научно-исследовательских проектов. Метод проектных интерфейсов, в свою очередь, позволяет разбить сложный проект на простые функционально законченные «самостоятельные» проекты, взаимодействующие между собой посредством заранее оговоренного формата обмена информацией (интерфейса) [1].

Одним из проектов, реализуемых с применением метода проектных интерфейсов, стала организация и поддержание в рабочем состоянии экспериментального измерительного полигона ФМИТИ ГАГУ, предназначенного для проведения учебного мониторинга различных параметров приземного атмосферного слоя. В процессе реализации проект «Измерительный полигон» был разбит на самостоятельные взаимодополняющие проекты: «Измерения и мониторинг», «Предварительная обработка данных и архивирование», «Визуализация и поиск событий» и «Исследование и моделирование». С каждым из подобных проектов может работать как один человек, так и проектная команда, состоящая из разного количества студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей. Проектные команды могут формироваться как на постоянной основе, так и под определенный проект.

Так, например, проектной команде, занимающейся моделированием, удалось разработать достаточно простую учебную модель события W – столкновения метеороида с атмосферой Земли, произошедшего 08.12.2019 в 18:10:49 по местному времени над Юго-Западной Сибирью. Ретроспектива развития во времени события была смоделирована на основе предварительно обработанных данных инфразвукового мониторинга, показаний видеорегистраторов и оценки географического расположения точек, в которых находились очевидцы, наблюдавшие необычную зеленовато-голубую вспышку, во время которой стало «светло как днем». Анализ оценки периода инфразвуковых колебаний максимальной амплитудой 2,35 с, позволил, используя информацию о периоде наблюдаемых биений инфразвукового сигнала (24 с), провести оценку энергии события W . Расстояние от «Полигона» до точки входа космического объекта в атмосферу и точки его взрыва было

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Алтай в рамках научного проекта № 20-413-040003 р-а.

оценено по задержке между зафиксированным на видеорегистраторах моментом вспышки и моментами начала и конца записи инфразвуковых колебаний, порожденных ударной волной, вызванной прохождением космического объекта через атмосферу. Также для оценки расстояния до наблюдаемой вспышки была использована грубая оценка распределения скоростей звука в атмосфере по высотам, в зависимости от температуры. Анализ оптической составляющей наблюдаемого явления позволил сделать предположение о ледяном составе космического объекта и провести оценку световой мощности и энергии наблюдаемой вспышки, совпадающей по порядку величины с оценкой по инфразвуковому сигналу. Полученная учебная модель взаимодействия космического объекта с атмосферой позволила сделать вывод о том, что космический пришелец, состоявший из льда, с массой около 200 кг, «вошел» в атмосферу на расстоянии 145 км от инфразвукового датчика на базе измерительного полигона ФМИТИ ГАГУ со скоростью порядка 30 км/с, распался при взаимодействии с атмосферой на несколько частей (две из которых имели массы 110 кг и 70 кг и диаметры порядка полуметра), просуществовал в атмосфере около 1 секунды и, преодолев дистанцию около 39 км, взорвался на расстоянии 106 км от измерительного полигона, излучив при этом световую энергию около 100 ГДж. Решение комплексной практической задачи осуществлялось посредством метода проектных интерфейсов, в процессе которого решались составляющие подзадачи, анализировались на каждом этапе полученные результаты, которые интегрировались в общие выводы.

Таким образом, описанный выше комплексный подход к образовательному процессу и организации научных исследований, имеет существенную междисциплинарную составляющую, а использование для исследования реальных данных позволяет повысить мотивацию к занятию наукой и более глубокого освоения изучаемых предметов.

Литература

1. Kudryavtsev N., Temerbekova A. Special features of the project interfaces method as a mechanism of developing a project approach to the educational process and children's technical creativity // Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin. 2018. Vol. 8, № 6. P. 167–182. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1806.11>

КОНЕЧНО ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ СТАТОРА И РОТОРА

И.О. Бельский, И.С. Куприянов, А.В. Лукьянов

ИрГУПС, Иркутск, Россия
xpress14@mail.ru

Введение. Асинхронные электродвигатели (АЭД) являются наиболее распространённым типом электрических машин благодаря высоким эксплуатационным показателям и простоте конструкции. Поэтому вопросы повышения надёжности асинхронных электродвигателей является приоритетной задачей, для решения которой необходима разработка методов и средств ранней диагностики состояния АЭД.

Уравнения конечно-элементного моделирования. Конечно-элементное (КЭ) моделирование, наряду с математическим моделированием [1], позволяет глубоко изучить физические явления и процессы, протекающие при возникновении и развитии неисправностей, прогнозировать изменение технического состояния благодаря высокому уровню адекватности модели и объекта исследования.

Моделирование проводилось в плоскопараллельной постановке задачи. Это позволило упростить решение путем введения понятия векторного магнитного потенциала \vec{A} , для которого максимальное и минимальное значения φ определяются отдельно на двух конечных интервалах проводящей области. Тогда в формулировке переходного состояния для электромагнитного поля решение может быть получено из уравнения [2]

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \nabla \times \vec{H}_k - \sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla \varphi \right) + \frac{1}{\mu} \nabla (\nabla \cdot \vec{A}),$$

где \vec{H}_k – напряжённость коэрцитивного магнитного поля; μ – магнитная проницаемость среды; \vec{A} – векторный магнитный потенциал; σ – удельная электрическая проводимость, ∇ – оператор Гамильтона.

Конечно-элементное моделирование. Для моделирования использовался четырёхполюсный АЭД с короткозамкнутым ротором. Данные, полученные в результате искусственного создания неисправности, сравнивались с бездефектным АЭД и делались соответствующие выводы.

Дефект «обрыв стержней ротора». Для создания дефекта «обрыв стержней ротора» последовательно уменьшалась проводимость стержней беличьей клетки ротора. КЭ моделирование динамики развития этого дефекта показало изменение рабочих характеристик АЭД. В момент прохода повреждённого стержня через полюс возрастает амплитуда тока в обмотке статора, что вызывает его модуляцию во времени. Амплитуда данных искажений увеличивается с уровнем развития дефекта.

Распределение магнитного поля в воздушном зазоре становится неравномерным, что влияет на магнитный момент и, как следствие, на механические характеристики АЭД. Моделирование показало, что развитие дефекта происходит, на следующем по направлению движения ротора стержне из-за увеличения нагрузки, в том числе и тепловой. В ходе моделирования доказано, что при наличии повреждения стержней происходят колебания движущего момента на валу и скорости вращения ротора АЭД, что может служить дополнительным источником информации при проведении диагностики.

Дефект «Межвитковые замыкания обмотки статора». Для создания дефекта «межвитковые замыкания обмотки статора» в соответствующей обмотке создавался дополнительный короткозамкнутый виток, при этом из основной фазной обмотки исключалось такое же число витков.

При наличии дефекта, распределение магнитного поля в воздушном зазоре принимает эллиптическую форму, вследствие того, что токи в обмотке дефектной фазы значительно больше, чем токи в бездефектных фазных обмотках. Это связано с тем, что ток в короткозамкнутом контуре индуцируется преимущественно магнитным полем в воздушном зазоре. Магнитный поток обратной последовательности, в беличьей клетке ротора индуцирует ток, создавая дополнительные потери, что приводит к уменьшению КПД всего АЭД.

Заключение. В результате КЭ моделирования АЭД при развитии таких распространённых дефектов как «обрыв стержней ротора» и «межвитковые замыкания обмотки статора» была получена зависимость диагностических параметров асинхронной машины от степени развития дефекта.

Литература

1. *Куприянов И.С., Бельский И.О., Лукьянов А.В.* Математическое моделирование параметров асинхронных двигателей при электрических дефектах ротора // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 154–163.
2. *Xin G.* Simulation of Vibrations in Electrical Machines for Hybrid-electric Vehicles. Master's Thesis. 2014. Chalmers University of Technology. Göteborg, 2014. С. 5.

CONCEPTUAL META MODEL FOR BUILDING INFORMATION MODELING

V. Nývlt

Institute of Technology and Business, České Budějovice, Czech Republic
vlad.nyvlt@gmail.com

The first meta-concept reflects a specification for data as a whole. We call this a Data Model. Good examples are ontologies or dictionaries. In addition, we have Data Sets that contain individual data according to the Data Model. The next basic meta-concept inside such a data model is a Concept referring to abstract notions as types of things of interest. Next we have Attributes being able to describe intrinsic characteristics and Relations to describe extrinsic characteristics of concepts. Concepts can be instantiated with Individuals referring to real world things you can or could point at. Such instances get lexical or reference Values for attributes respectively relations. Lexical values can be classified according to some Value Type (like string, decimal, integer, boolean etc.). Concepts can have Constraints restricting the amount of values or the values themselves or both. Also attributes and relations can have restrictions with respect to their source or target concepts (in case of relations) or value type (in case of attributes). Finally we have Derivations for concepts that tell us how new values for attributes or relations can be inferred from existing asserted values.

We define three mechanisms as specific relations:

1. Classification (inverse: instantiation), from 'concrete' to 'abstract'.
2. Generalization (inverse: specialization), from 'specific' to 'generic'.
3. Composition (inverse: decomposition), from 'detailed' to 'global'.

These three mechanisms generate three hierarchy types namely a typology (of concepts), a taxonomy (of concepts, attributes or relations) and a meronymy (of concepts) respectively. Concepts are themselves instances of 'Concept' and can be instantiated in instances; Value Types are themselves instances of 'Value Type' and can be instantiated in values. Concepts can be specialized in other Concepts; attributes can be specialized in other attributes, and relations can be specialized in other relations. Specialized concepts, attributes and relationships inherit all constraints and derivations of the concepts, attributes, relationships they are specialized from. Concepts can be decomposed in concepts; Instances can be decomposed in other instances.

Beside the three abstraction mechanisms we also provide other relation types:

- Grouping, like for grouping all concepts, attributes, relations etc. into one data model,
- Characterisation, indicating how attributes, relations, constraints and derivations relate to concepts/individuals on concept/instance level, and
- The general associations on both concept and individual level.

Literature

1. Nývlt V., Novotný R. Ontology as a Tool for Building Life Cycle Modelling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 471. P. 1020073. doi: 10.1088/1757-899X/471/10/102007.
2. Nývlt V., Lojda J. Semantic Technologies and Semantically Defined "Building Information". Atlantic Press: Proceedings of the International Conference on Economics, Management and Technology in Enterprises, 2019. Vol. 78. doi: 10.2991/emt-19.2019.25.
3. Nývlt V. BIM as a tool for building life cycle management // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2018. Vol. 18, is. 5.3. P. 127–134.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

Ю.В. Коновалов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
yrvaskon@mail.ru

Цифровизация является актуальной тенденцией для повышения эффективности работы отраслей, в том числе энергетической. Цифровизацию можно назвать базовой частью архитектуры четвертой промышленной революции, так называемой «Индустрии 4.0». Эта глобальная тенденция подразумевает развитие российских высокотехнологичных компаний. В 2017 году цифровизация экономики была включена в перечень приоритетных направлений стратегического развития страны до 2025 года.

На нефтегазодобывающих предприятиях (НГДП) также осуществляется цифровая трансформация всей структуры, проводится оптимизация и изменение логики технологических процессов в результате внедрения цифровых технологий на основании анализа больших данных. Частью цифровой экономики становится и цифровизация электроэнергетического сектора всех отраслей минерального сырьевого комплекса, связанных с разведкой, добычей, транспортировкой и переработкой, жидких, газообразных и твердых сырьевых ресурсов. Так в компании ПАО «Роснефть» определены общие контуры стратегии «Роснефть-2022». Её важнейшим элементом названа цифровизация всех направлений деятельности, внедрение современных цифровых технологий и новых стандартов промышленного интернета [1]. Таких же тенденций придерживаются в одной из крупнейших российских нефтяных компаний «Татнефть», где инструментами в достижении поставленных задач по реализации стратегических проектов станут инновационные технологии, цифровизация и автоматизация производственных процессов, совершенствование организационной структуры, а также снижение удельных операционных затрат и рост эффективности инвестиций [2]. В настоящее время «Татнефть» активно разрабатывает и внедряет в производство базовых элементов таких структур как «Цифровое предприятие» и «Цифровое месторождение» [3].

Применение цифровых технологий позволяет реализовать режимное взаимодействия между централизованной энергосистемой и потребителями НГДП путем внедрения оптимизационных алгоритмов управления работой электрического и технологического оборудования, корректировать режимы потребления и генерации активной и реактивной мощности, регулировать уровень напряжения в узлах нагрузки, интегрировать и объединения различных IT-технологий управления с применением локального и дистанционного управления и использования цифровых моделей прогнозов и планирования электропотреблением. Для реализации задач оперативного управления энергопотреблением разработана система управления распределительной сетью НГДП, обеспечивающая решение задач по расчету установившегося режима на шинах подстанции, анализу и расчету потерь в элементах систем электроснабжения. Предложен алгоритм интеллектуального управления электропотреблением, основанного на анализе профилей и характере нагрузок. По результатам паспортизации электрических нагрузок предприятий нефтегазодобывающей отрасли, представлены результаты статистической обработки экспериментальных исследований графиков электрических нагрузок (ГЭН) НГДП.

По результатам инструментальных замеров были построены профили графиков нагрузок центров питания и промышленных подстанций и получены профили усредненных графиков нагрузки НГДП в целом. Большая часть установок, связанных с технологией на НГДП работает, с равномерной или заданной периодически изменяющейся нагрузкой. Установлено, что усредненный график подстанции НГДП удовлетворяет условию обобщенной периодичности. Взаимосвязь между координатами графика носит случайный, вероятностный характер. Это объясняется отсутствием детерминированных связей между технологической независимостью отдельных центров питания и графиками электрических нагрузок. Вследствие этого для изучения и прогнозирования характеристик ГЭН электроподстанций и центров электрических нагрузки использован математический аппарат теории случайных процессов. Характеристика случайного процесса по виду вероятностного распределения координат ГЭН позволяет определить уточненные вероятностные характеристики и построить цифровую модель случайного процесса изменения электропотребления.

Литература

1. Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли // Нефтегаз. Ежемесячное информационно-аналитическое издание. Совместный проект национального форума и выставки «Нефтегаз». URL: https://www.neftegaz-expo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz/doc_2017/Neftegaz_Digest_2017.02.pdf (дата обращения: 10.01.2020).
2. Пресс-релиз ПАО «Татнефть». URL: <https://www.tatneft.ru/press-tsentr/press-relizi/more/5641?lang=ru> (дата обращения: 10.01.2020).
3. Пресс-релиз ПАО «Татнефть». URL: <https://www.tatneft.ru/press-tsentr/press-relizi/more/5467?lang=ru> (дата обращения: 10.01.2020).

ИНВЕСТИЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ: 3D-СЕКТОРНЫЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ТАТНЕФТЬ»

О.В. Бахарева, М.И. Шуганова

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
OVBakhareva@mail.ru

Технологические процессы в нефтегазовой отрасли чувствительны ко многим параметрам: работе оборудования, правильности функционирования инженерных систем, диапазону рабочих температур, давлению, следовательно, важно в автоматическом режиме получать информацию о любых отклонениях комплексной системы предприятия от нормального режима работы. Цифровые двойники представляет собой набор гибридных цифровых моделей, охватывающих всю технологическую цепочку, позволяют прогнозировать переход оборудования в критическое состояние, предотвращать техногенные аварии, что существенно повышает эффективность использования технологического оборудования,кратно повышает технологическую безопасность эксплуатации опасных производственных объектов, охрану труда, экологическую безопасность и экономическую эффективность [1–4].

Целью исследования является анализ направлений инвестиций в информационное моделирование цифровых двойников объектов нефтегазодобычи на территории Республики Татарстан на примере ПАО «ТАТНЕФТЬ», методов разработки цифровых двойников и экономических результатов их использования. Фирма является вертикально интегрированным холдингом в следующих секторах экономики: геология (поиск и разработка месторождений), строительство, контроль технологических процессов (непрерывный мониторинг технологических процессов), логистика и торговля (отправка продукции потребителям). Инвестиции осуществляются в информационные платформы для бизнес-блоков: нефтегазодобыча, нефтепереработка, нефтехимия, энергетика, сбыт продукции, нефтяной сервис. Фирма применяет методы информационного моделирования объектов, искусственный интеллект, машинное обучение, предиктивную аналитику на основе цифровых двойников для анализа операционных данных, выделения критических событий, использует системы поддержки принятия решений для предотвращения аварий, совершенствования бизнес-процессов и обоснования стратегических решений. В дочерней компании, на нефтеперерабатывающем комплексе «ТАНЕКО», реализован проект создания цифрового двойника по оптимизации управления установкой первичного фракционирования нефти, проведен анализ исторических данных работы установки, разработана термодинамическая модель производства, виртуальные анализаторы с функцией предсказания состава технологических потоков, оптимизирован технологический режим работы на платформе AZUR (рис. 1).

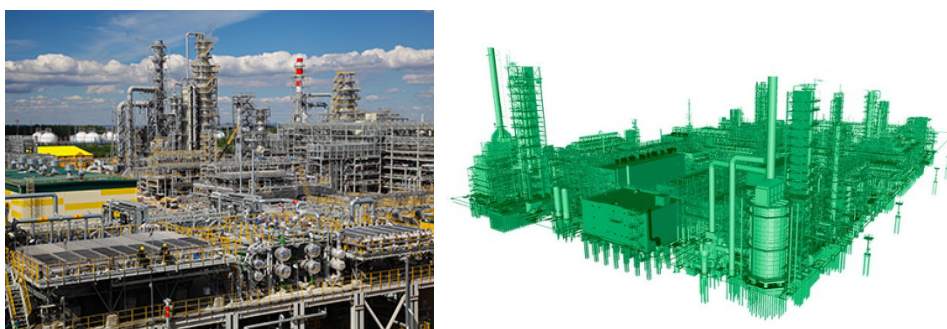


Рис. 1. Установка и информационная модель цифрового двойника оптимизации управления установкой первичного фракционирования нефти ПАО «ТАТНЕФТЬ».
Источник: Составлено авторами на основе данных компании* и [5].

* На Комплексе «ТАНЕКО» создается цифровой двойник // Официальный сайт ПАО «ТАТНЕФТЬ». 19.06.2019. URL: <http://www.tatneft.ru/press-tsentr/press-relizi/more/5871?lang=ru> (дата обращения: 07.02.2020).

Фирма применяет комплексную цифровую модель обоснования, проектирования скважин на базе цифровых секторных моделей месторождений и подбора оптимальные места для бурения горизонтальных скважин в благоприятных геологических условиях, что позволило добыть дополнительно 150 тыс. тонн нефти. Внедрение отдельных моделей объектов нефтегазодобычи на Ромашкинском нефтяном месторождении позволило фирме получить экономический эффект и снизить себестоимость добычи на 30%*. До 2021 года ПАО «ТАТНЕФТЬ» масштабирует практические решения на весь комплекс активов на основе 3D-секторных геолого-гидродинамических моделей объектов.

Цифровой двойник объекта нефтегазодобычи - это набор гибридных цифровых моделей, охватывающий всю технологическую цепочку предприятия: разведка, добыча или переработка на жизненном цикле реального объекта. В основе создания и использования цифровых двойников лежат имитационные модели на основе нейронной сети, для которых требуется последующее обучение и самообучение для решения новых поставленных задач. Прогнозирование осуществляется на основе предиктивной аналитики, технологии информационного моделирования реальных объектов, искусственного интеллекта, машинного обучения, а также методов анализа баз исторических данных, баз данных сенсоров и датчиков, баз знаний. Эффективность создания, использования и развития технологии цифровых двойников обуславливается качеством построенной имитационной модели и применением методов математического моделирования для прогнозирования поведения комплексной информационной системы фирмы. В результате внедрения информационного моделирования цифровых двойников в нефтегазовой отрасли создается цифровое производство полного цикла, которое снизит антропогенную нагрузку на природу, вероятность техногенных аварий и повысит экономическую эффективность фирм отрасли.

Литература

1. *Armstrong M., Galli A., Beucher H., Loc'h G., Renard D., Doligez B., Eschard R., Geffroy F.* Plurigaussian Simulations in Geosciences. Springer Science & Business Media, 2011. 176 p.
2. *Bratvold R., Begg S.* I would rather be vaguely right than precisely wrong: A new approach to decision making in the petroleum exploration and production industry // AAPG Bulletin-American Association of Petroleum Geologists. 2008. № 92(10). P. 1373–1392. doi: 10.1306/06040808070.
3. *Ketler K., Walstrom J.* The outsourcing decision // International Journal of Information Management: The Journal for Information Professionals December. 1993. Vol. 13, is. 6. doi: 10.1016/0268-4012(93)90061-8.
4. *Mackie S.* Human Decision-Making in the Upstream Oil and Gas Industry // SPE 131144. 2007. P. 588.
5. *Маликов А.* ТАТНЕФТЬ создаёт цифровых двойников // Нефть и жизнь. 2018. № 1 (117). С. 23–25.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА КАРЛА МАРКСА В ГОРОДЕ НОВОСИБИРСКЕ)

Г.П. Ерохин, Ю.В. Родионова

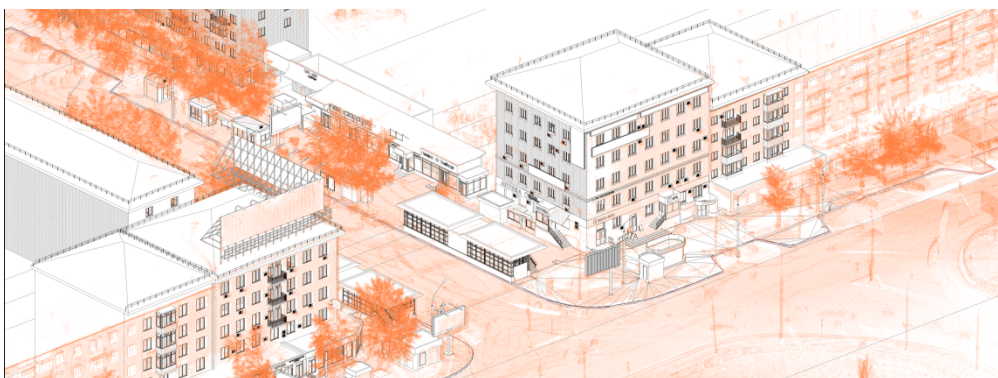
Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова, Новосибирск, Россия
rodionova@nsuada.ru

Обеспечение устойчивого развития территорий (sustainable development) [1] подразумевает принятие конкретных решений, направленных на повышение качества среды проживания человека [2]. Крайне сложно понять ценность отдельного решения, его отрицательные и положительные последствия, если отсутствует система принятия решений, учитывающая градостроительный и социальный контекст в данной конкретной точке пространства. Муниципальные органы власти в условиях сжатых сроков предоставления муниципальных услуг не всегда могут однозначно верно оценить представленные заявителями проекты реконструкции зданий, установки нестационарных объектов, рекламных конструкций или архитектурных форм и последствия принятых решений в виде возникновения нарушений нормативов и регламентов использования территорий или фрагментов зданий, деградации архитектурной среды в целом.

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств в 2019 году выполнил исследовательскую работу в отношении крупного городского общественного пространства в городе Новосибирске – проспекта Карла Маркса. В работе одним из основных результатов и одновременно исследовательских инструментов стала информационная модель территории проспекта (рисунок), которая позволила: провести оценку фактического состояния территории проспекта; выявить несоответствия зданий, сооружений, нестационарных объектов, рекламных конструкций и элементов уличного оборудования стандартам, правилам и нормативам проектирования, правилам благоустройства и дизайн-коду

* Как цифровой двойник почти на треть удешевил добычу на Ромашкинском месторождении. URL: <https://m.business-gazeta.ru/article/443054> (дата обращения: 04.04.2020).

города; отобразить карту социальных оценок; отобразить на картах зоны визуального дискомфорта [3, 4]; установить пространственные зоны регламентных ограничений и влияния на удовлетворенность пребывания и проживания граждан.



При регистрации в модели массива изменений пользователь информационной модели получает возможность оценить положительные и отрицательные факторы, вносимые предлагаемым изменением градостроительной среды. Информационная модель проспекта размещена в информационной системе обеспечения градостроительной деятельности города Новосибирска, что позволяет специалистам органов местного самоуправления получать комплексную оценку соответствия принимаемых решений целям устойчивого развития.

Современные технологии геоинформационных систем позволяют перейти от статичных цифровых моделей местности к параметрическому описанию территории в виде информационной модели.

Вследствие применения информационной модели повышается качество управления территорией, улучшается контроль соответствия территории нормам, стандартам и правилам, получают полноценное обоснование и возможности многовариантности стратегии устойчивого развития территорий.

Литература

1. ГОСТ 56548–2015. Устойчивое развитие административно-территориальных образований. Системы менеджмента. Общие принципы и требования. М., 2016. 23 с.
2. Глазычев В.Л. Город без границ. М.: Территория будущего, 2011. 398 с.
3. Ефимов А.В., Панова Н.Г. Архитектурная колористика и пластические искусства. М.: БуксМАрт, 2019. 424 с.
4. Ворожейкина В.А. Светоцветовая навигация сибирского города (на примере гостевого маршрута в Новосибирске) // Проект Байкал. 2020. № 63. С. 42–47.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК МОСТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗОК

Н.В. Козак

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
kozak.spbgasu@gmail.com

Одной из ключевых особенностей при анализе работы элементов мостовых сооружений является нестационарный характер их нагруженности. В отличие от других строительных конструкций (например, гражданских и промышленных зданий), где основные расчетные воздействия принимают постоянными с определенной зоной приложения, на конструкции мостов преимущественно действуют нагрузки от проходящего транспорта, переменные как по области своего приложения, так и по величине [1]. С учетом обозначенной особенности важным аспектом анализа работы конструкций мостовых балок в долгосрочном временном периоде выступает наличие качественных и полных данных об истории загрузки исследуемого узла в течение рассматриваемого периода [2, 3].

В рамках работ по исследованию выносливости узлов объединения стальной и бетонной частей балок мостов [4, 5] был разработан алгоритм и составлена программа по получению массива данных теоретической (расчетной) истории загрузки изучаемого элемента. Суть алгоритма сводится к пошаговой прогонке задаваемых параметрических нагрузок по вычисленной поверхности влияния для рассматриваемого узла.

Для построения поверхности влияния использовался метод конечных элементов, инструментом реализации выступал программный комплекс SOFiStiK AG, в котором была создана плитно-стержневая модель пролетного строения с прямоугольной сеткой элементов. Методом прогона единичных нагрузений

была получена поверхность влияния от единичного нагружения для рассматриваемого в рамках исследования узла в середине пролета.

Особенностью применяемого алгоритма прогона нагрузок по полученной поверхности влияния выступает широкая параметризация задаваемых нагрузок, позволяющая моделировать проезд транспортных средств как с учетом различий в массе и количестве осей, так и принимая во внимание изменение траектории движения, скорости, ускорения. Также в алгоритме заложена возможность учета нестационарности прикладываемых сил, то есть возможность учета динамических (колебательных) воздействий. Возможность комбинировать несколько разных нагрузок позволяет моделировать транспортные потоки, в том числе и случайные. Алгоритм был реализован на языке Python, что позволяет производить точную параметризацию используемых нагрузок и вводить дополнительные условия.

Получаемые массивы данных далее используются как граничные условия при моделировании долгосрочной работы непосредственно изучаемого узла с использованием таких инструментов высокого уровня, как ANSYS и затем оценки его выносливости и ресурса.

Использование подобных инструментов моделирования дает возможность отойти от используемых ныне частично эмпирических моделей и идеализированных моделей случайного распределения, что приближает результаты экспериментов на моделях к результатам натурных испытаний.

Литература

1. Саламахин П.М. Проблемы совершенствования норм и технологии проектирования автодорожных мостовых сооружений. Вестник мостостроения № 1 // Журнал фонда «Амост». 2010.
2. Научно-технический отчет «Оценка остаточного ресурса конструкций стационарных пролётных строений Дворцового моста через реку Неву в Санкт-Петербурге». СПб., 2010. С. 112.
3. Bystrov V., Kozak N. Issues and concepts of road transport structures development and provision of traffic and pedestrian safety // Transportation Research Procedia 36. 2018. P. 103–107.
4. Быстров В.А., Козак Н.В., Ярошутин Д.А. Проблемы обоснования режимов фактической динамической нагруженности и ресурса долговечности конструкций сталежелезобетонных автодорожных и городских мостов // Транспортные сооружения. 2019. № 4. URL: <https://t-s.today/PDF/06SATS419.pdf>. DOI: 10.15862/06SATS419.
5. Козак Н.В. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных норм проектирования в области расчетов элементов на выносливость // Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии): материалы научно-практической конференции. СПб., 2019. С. 92–96.

О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫХ АППРОКСИМАЦИЙ СО СВОЙСТВОМ ДЕЛОНЕ

С.В. Плотников

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
serge.plotnikov@gmail.com

В сообщении обсуждаются некоторые проблемы, связанные с кусочно-линейной аппроксимацией функции $f: R^n \rightarrow R^k$, информация о которой ограничивается ее значениями в заданных точках из конечного множества $A = \{a^1, \dots, a^m\}$. К такой постановке приводит широкий круг задач из самых различных областей знания.

Особенностью рассматриваемого подхода к проблеме является применение методологии разбиений Делоне в R^n , основанной на технологиях линейного программирования [1–4]. Некоторые авторские коррективы позволили распространить эту перспективную методологию на широкий класс задач без требования телесности выпуклой оболочки множества A [5–6]. Тем не менее, в этом подходе также присутствуют определенные проблемы, связанные как с неоднозначностью вычислений, так и с возникающей необходимостью решения дополнительных задач. Одной из обсуждаемых таких задач является проблема нахождения решения из минимальной грани оптимального множества следующей задачи:

$$\max \{x^T u + w \mid (a^i)^T u + w \leq \|a^i\|^2, i = 1, \dots, m \}.$$

Эта задача является двойственной к базовой, проекция компоненты \hat{u} ее решения из минимальной грани оптимального множества на аффинную оболочку множества A определяет центр сферы Делоне при нахождении оценки $f(x)$. Нахождение решения из грани наименьшей размерности оптимального множества нетривиально здесь по той причине, что эта двойственная задача не обязана иметь вершины. Стандартная симплексная методология рекомендует ввести в задачу искусственные переменные, но получаемое с их помощью решение не обязательно будет обладать таким свойством. Автору неизвестны симплексные процедуры, гарантированно приводящие к решениям из минимальной грани оптимального множества.

В сообщении предлагаются способы решения поставленной задачи и обсуждаются другие вычислительные проблемы рассматриваемого подхода.

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, 1991. P. 357–363.
2. *Benčekroun B., Falk James E.* A nonconvex piecewise linear optimization problem // Computers Math. Applic. 1991. Vol. 21, № 6/7. P. 77–85.
3. *Yepremyan 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.
4. *Еремин И.И.* Теория линейной оптимизации. Екатеринбург : УрО РАН, 1999. 313 с.
5. *Плотников С.В.* О вычислительной схеме восстановления образа объекта с применением разбиений Делоне // Материалы 11 международной конференции ICAM'2016. Екатеринбург, 2016. С. 83–84.
6. *Плотников С.В.* К проблеме неоднозначного восстановления информации с помощью кусочно-линейной технологии, использующей разбиения Делоне // Материалы 12 международной конференции ICAM'2018. Республика Алтай, пос. Катунь, 4–8 июня 2018. С. 77–78.

ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМЫ «ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕОПОТОКОВ»

Е.П. Шустова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
evgeniyashustova@yandex.ru

В настоящей статье разработан интерфейс системы «Обработка и анализ изображений и видеопотоков», принципы проектирования и архитектура которой описаны в статье [1]. Он представлен на UML-диаграммах классов с использованием шаблона проектирования Model-View-Controller и учитывает предложенную Соловяненко А. Ю. архитектуру интерфейса модуля, предназначенного для тестирования методов обработки и анализа изображений и видеопотоков встроенными в систему методами тестирования [2].

Наряду с известными принципами проектирования информационных систем [3], таких как: системность, развития, совместимости, стандартизации и унификации, эффективности с помощью предложенного интерфейса реализуются так же принципы: обучаемость, многопрофильность, научность, открытость. Заметим, что разработанный нами интерфейс позволяет реализовать принцип открытости системы двумя способами: без выхода в интернет и с выходом в него. А именно: без выхода в интернет использовать модули для добавления (удаления, обновления) пользовательских баз тестовых примеров изображений и видеопотоков, методов, прикладных модулей и отчетов о качестве исполнения алгоритмов; с выходом на сайт этой системы – работать в своем личном кабинете. В своем профиле пользователь увидит новости и других пользователей этой системы, если они в своем личном кабинете разрешили видимость себя и своих сообщений на этой странице. Эта информация может быть использована для общения и обмена материалами между пользователями. Доступ к своим материалам пользователь открывает по своему усмотрению и на тех условиях, которые будут обговорены вне нашей системы.

Пользователь может получать (давать) доступ к пользовательским (соответственно своим) разработанным методам обработки или анализа изображений и видеопотоков, методам тестирования алгоритмов, прикладным модулям, отчетам по результатам тестирований, а так же тестовым изображениям или видео. Прикладные модули могут быть использованы так же и как самостоятельные системы.

Разрабатываемая система внесет весомый вклад в обеспечение интеграции образования, науки и производства, что является залогом успешного выполнения управления качеством и, как следствие, обеспечения конкурентоспособности отечественных систем интеллектуального видеоанализа. В этой системе отражены новые достижения в области методов обработки и анализа изображений и видео-потоков (со ссылками на современные научные статьи и репозитории), что будет способствовать ускорению развития научной мысли в этой области.

Литература

1. *Shustova E. P.* Design principles and architecture of the system «Processing and analysis of images and video streams» // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1158, № 4. P. 042017. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1158/1>, <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1158/4>.
2. *Соловяненко А. Ю.* Система тестирования качества работы методов обработки и анализа изображений и видеопотоков // Материалы Международной молодежной научной конференции «XXIV ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)», 7–8 ноября 2019 года»: сборник докладов. Казань: ИП Сагеева А.Р., 2019. Т. 4. С. 417–423. URL: <https://t4.kai.ru/material/24>, https://t4.kai.ru/images/digest_2019/4.pdf
3. *Димов Э.М., Дязитдинова А.Р.* Проектирование информационных систем: учеб. пособие. Самара, 2005. URL: <http://www.khvorostov.ru/content/proektirovanie-informatsionnykh-sistem-uchebnoe-posobie/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В КАЧЕСТВЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

С.Д. Субботин

УрФУ, Учебно-научный центр «Информационная безопасность», Екатеринбург, Россия
s.d.subbotin@urfu.ru

Целью работы является исследование возможности применения беспилотного летательного аппарата на каком-либо этапе специальных исследований средств вычислительной техники (далее – СВТ) для упрощения применения методических документов, сокращения общего времени измерений, уменьшения числа задействованного технического персонала и разработка реального мобильного измерительного комплекса.

Методические документы по контролю защищенности, оценке эффективности СВТ по каналу побочных электромагнитных излучений, обновляются, совершенствуются, соответственно и способы измерений также должны расширяться [1]. Известно, что часть измерений при контроле защищенности, оценке эффективности должна проводиться за пределами контролируемой зоны (в местах возможного размещения средств разведки), да и в разных направлениях вокруг исследуемого объекта, что занимает достаточно длительное время [2]. Идеальным вариантом будет проведение контроля с воздуха, а точнее с беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА) для того, чтобы сократить время проведения специальных исследований, а также уменьшить количество привлеченного технического персонала к выполнению задачи специальных исследований.

Разработанная мобильная измерительная платформа представлена на рис. 1.



Рис. 1. Разработанная мобильная измерительная платформа

В рамках исследования был выбран и приобретен гражданский малогабаритный БПЛА, с которым:

- проведена оценка массогабаритных характеристик проектируемого изделия;
- исследована возможность использования БПЛА в качестве мобильной платформы для размещения измерительного оборудования;
- изучены технические характеристики существующих на сегодняшний день радиоприемников, с учетом широкого рабочего диапазона частот и пропускной способностью подобрана нужна модель;
- проанализированы технические характеристики мини-компьютеров и выбрана конкретная модель для разработки;
- разработано программное обеспечение для проведения части специальных исследований с БПЛА;
- выполнены натурные испытания измерительной установки в статических условиях и сравнение результатов с поверенным специализированным комплексом;
- оценены возможности использования БПЛА в качестве платформы для размещения измерительной установки.

Разработанная мобильная измерительная платформа позволит изменить подходы к условиям измерения контролируемой зоны. Кардинальная новизна заключается в том, что сейчас измерения могут проводиться практически на любом расстоянии от периферийных устройств СВТ, в том числе извне помещения, в котором они установлены. Нет необходимости уносить СВТ в измерительную лабораторию, где изменяется его местоположение и конфигурация.

Литература

1. *Кондратьев А.В.* Техническая защита информации. Практика работ по оценке основных каналов утечки. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 304 с.
2. Программно-аппаратный комплекс для проведения специальных исследований «НАВИГАТОР». Программа «НАВИГАТОР 5.0» Текст. Описание применения: НЭ. 14333-01 31 01-1. М.: НПЦ «НЕЖ», 2002. 104 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С.А. Щербин

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
dekan_ftk@angtu.ru

Оптимизация размеров оборудования осуществляется, как правило, с целью его удешевления. Для аппаратов большого объема наиболее актуально определение оптимальных размеров, при которых масса сосудов, а, следовательно, и металлоемкость, будет минимальной.

Определим оптимальный диаметр и высоту цилиндрического аппарата с эллиптическим днищем и крышкой, работающего под избыточным давлением. Для этого в качестве целевой функции выразим массу сосуда m через его диаметр D :

$$m = \rho_m (4Vk_s + 4Vc / D + 1,43cD^2 + 1,43k_s D^3), \quad (1)$$

где ρ_m – плотность конструкционного материала, кг/м³; V – объем сосуда, м³; c – прибавка к расчетной толщине стенки, м; k_s – расчетный комплекс, учитывающий давление в сосуде и прочность конструкционного материала:

$$k_s = p / (2[\sigma]\varphi - p),$$

где p – расчетное давление, Па; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение конструкционного материала при расчетной температуре, Па; φ – коэффициент прочности сварного шва.

Далее найдем первую производную целевой функции по диаметру и проверим выполнения условия, при котором металлоемкость будет минимальной:

$$dm / dD = -4Vc / D^2 + 2,8cD + 4,2k_s D^2,$$

$$d^2m / dD^2 > 0;$$

$$8Vc / D^3 + 2,86c + 8,58k_s D > 0, \quad \text{– условие выполняется.}$$

Для определения оптимального диаметра аппарата приравняем первую производную к нулю:

$$4,29K_s D^4 + 2,86cD^3 - 4Vc = 0.$$

Полученное уравнение не имеет аналитического решения, но может быть решено графически с применением ЭВМ. На рис. 1–2 показаны полученные зависимости оптимального диаметра и высоты корпуса от объема сосуда, выполненного из стали 10 ($[\sigma] = 117$ МПа, $\varphi = 1$, $c = 1,5$ мм), работающего под расчетным давлением $p = 0,5$ МПа, для которого величина комплекса $k_s = 2,141 \cdot 10^{-3}$.

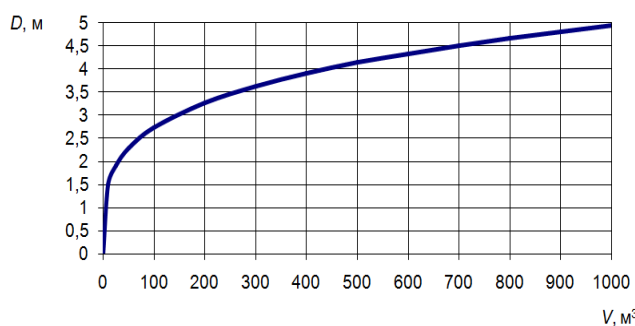


Рис. 1. Зависимость оптимального диаметра D от объема сосуда V

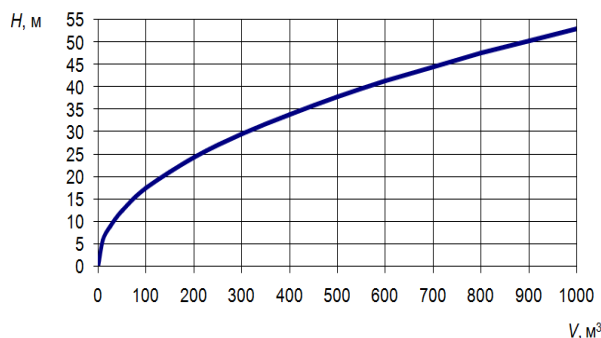


Рис. 2. Зависимость оптимальной высоты H от объема сосуда V

Анализ рисунков позволяет сделать вывод, что при оптимизации размеров сосудов из условия минимальной материалоемкости высота корпуса на порядок превышает диаметр. При этом уменьшается площадь, занимаемая объектом, но увеличивается высота площадок для обслуживания, возрастает нагрузка на фундамент и затраты на его сооружение.

Полученные по представленной методике уравнения могут быть использованы для быстрого определения оптимальных размеров и соответственно стоимости типового промышленного оборудования.

Литература

1. Щербин С.А., Внуков Б.Г., Гордеев К.И. Оптимизация размеров сосудов из условия минимальной материалоемкости корпуса // Сборник научных трудов АНГТУ. Ангарск: АНГТУ, 2018. С. 64–67.
2. Михалев М.Ф. и др. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: учеб. пособие. М.: Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. 312 с.
3. ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 91 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕРМИНА «ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ» В ИНФОРМАТИКЕ

В.А. Шапцев

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
v.a.shapcev@utmn.ru

Обоснованы следующие утверждения. Первое. Обеспечение информационной системы (ИС) – это (внешняя по отношению к ИС) совокупность мероприятий и средств создания условий нормального (эффективного) использования готовой ИС [1]. Второе. ИС – это целесообразная совокупность взаимодействующих подсистем (технической, программной, БД, документации, персонала и СПД) [2]), но не обеспечений. Следствием неверного восприятия термина «обеспечение ИС» менеджментом организаций является, в частности, перегрузка персонала непроизводительным взаимодействием с несколькими ИС и с их последующей формальной «интеграцией».

Целесообразно провести соответствующую коррекцию стандартов, государственных и предприятий; скорректировать содержание соответствующих дисциплин информатики в вузах.

Предлагается обсуждение практически важных следствий результата этого исследования. Вот два из них. Первое: только адекватное обеспечение эксплуатируемой ИС дает существенный эффект от её использования, включающий позитивное настроение персонала и сохранность его здоровья. Второе: понимание значимости адекватного обеспечения ИС менеджментом организации мотивирует его на включение в техническое задание на разработку или внедрение ИС, например, требований по человеко-центрическому (объектному [3], в частности) интерфейсу ИС.

Литература

1. *Слепченко В.П., Шапцев В.А.* Концепция знаниевого обеспечения информационных систем // Наука. Технологии. Инновации. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. Ч. 7. С. 70–74.
2. *Erik Gregersen* Components of Information Systems. URL: <https://www.britannica.com/list/5-components-of-information-systems> (дата обращения: 14.01.2020).
3. *Nancy Pong* Принципы разработки пользовательского интерфейса. 2017. URL: <https://medium.com/начинающему-ux-дизайнеру/принципы-проектирования-пользовательских-интерфейсов-cc36718c7e9f> (дата обращения: 14.01.2020).

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ НЕЙРОСЕНСОРНОЙ ТУГОУХОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

М.В. Кривов, М.П. Дьякович

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
vmk@angtu.ru

Ранняя диагностика нейросенсорной тугоухости (НСТ) от воздействия шума на производстве очень важна, так как это заболевание широко распространено, поражает лиц трудоспособного возраста, несет значительный ущерб обществу и качеству жизни самого пострадавшего. В анализе риска этого профзаболевания важным этапом является построение обобщенных моделей, отображающих взаимосвязи медико-биологических параметров организма работников и вредного производственного фактора, влияние которого провоцирует наступления болезни. Для специалиста-профпатолога важно знать выявленные взаимосвязи для осуществления ранней диагностики заболевания и профилактических мероприятий.

В исследовании профессиональной НСТ хорошие результаты диагностирования степени тяжести заболевания были достигнуты при применении аппарата моделирования на основе глубоких искусственных нейронных сетей (ИНС). Использовалась многоклассовая кластеризация по степеням заболевания.

Источником данных для обучения ИНС являлся информационный массив персонифицированных результатов клинических исследований, выполненных в клинике профессиональных заболеваний Восточно-Сибирского института медико-экологических проблем и предоставленных для исследования авторам. На базе этих показателей экспертами формируется множество интегральных показателей, комплексно характеризующих состояние пациента. В настоящем исследовании в обучающей и контрольной выборке участвовали комплексы параметров, характеризующие состояние центральные и периферические проводящие структуры нервной системы. Программное обеспечение синтеза структуры нейронных сетей, глубокого обучения, проверки валидности и адекватности модели, вычислительных экспериментов с моделью было разработано на языке Python.

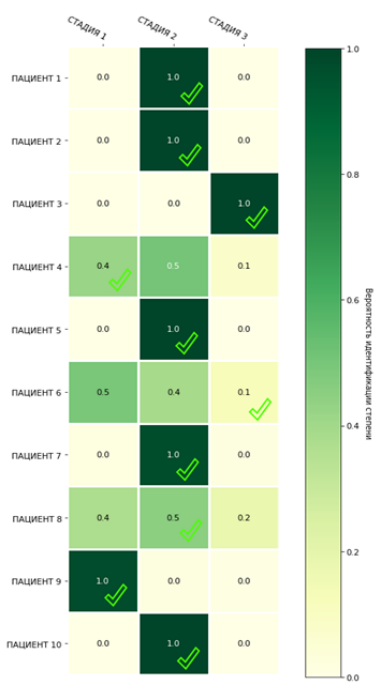


Рис. 1. Результат диагностирования ИНС степени тяжести НСТ (флажком отмечены заключения экспертов-профпатологов)

Предобработка данных заключалась в создании однородных, нормированных выборок. Для этого над первоначальным информационным массивом была произведена фильтрация данных и их нормализация. Следует отметить, что «качество» обучающих данных явилось серьезной проблемой на стадии подготовки данных. Сложность подготовки данных состояла в том, что медицинские показатели являются неоднородными, т.е. описываются величинами, имеющими разную природу (качественные и количественные данные, экспертные оценки). В работе предложен подход к разбиению набора данных на группы по степени однородности. Кроме того, следует отметить неполноту информации об отдельных пациентах, связанную с недостающими данными по причине отсутствия по объективным и субъективным причинам определенного исследования конкретным пациентом.

Структура синтезируемых для классификации ИНС многослойная (5-6 слоев), содержащая слой прореживания данных. Количество тренируемых параметров 6600–7800. На рис. 1 представлен результат диагностирования степени тяжести НСТ у пилотов гражданской авиации, представленный в форме градиентной карты. Вероятность принадлежности к определенной степени заболевания изображено интенсивностью закраски ячейки. Флажком отмечено мнения эксперта – профпатолога о степени тяжести тугоухости у отдельного пациента.

Точность прогноза полученных моделей, обученных по реальным данным, составляет 70–80% по отдельным комплексам параметров функционирования нервной системы, что можно считать удовлетворительным результатом. Дальнейшее развитие исследований авторов заключается в подготовке и данных, позволяющих дополнительно обучить ИНС для прогнозов с более высокой точностью

на более широком спектре медицинских параметров, характеризующих различные функциональные системы организма пациентов. Практическим результатом данной работы является программное обеспечение, реализующее функции советующей системы поддержки принятия решений профпатологом для ранней диагностики НСТ и разработки программ реабилитации пациентов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО КУРСУ «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА В РАДИОТЕХНИКЕ»

О.С. Жабин, Р.А. Василенко, Г.И. Маленко, В.В. Атамасов, А.А. Жуков, Е.Ю. Коровин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
Rc9hc@mail.ru

Стремительное развитие технологий обуславливает потребность общества в высококвалифицированных технических специалистах. Интеграция различных областей науки предъявляет к инженерам требование владения актуальными теоретическими знаниями и практическими навыками как по своему профилю, так и сопрягаемым специальностям [1]. Одним из вариантов решения данной задачи можно считать применение электронных образовательных ресурсов и технологий удалённого обучения в образовательном процессе.

Авторами создан электронный образовательный ресурс для методического и программного обеспечения лабораторного практикума по курсу «Измерительные приборы и устройства радиотехники». Данный курс размещён в системе дистанционного обучения Moodle.

В рамках данного практикума студентам предстоит работать с реальными измерительными приборами, входящих в состав программно-аппаратного комплекса NI ELVIS II+ [2] и модульные приборы стандарта PXI из парка оборудования центра коллективного пользования радиоизмерений Томского государственного университета. Для управления измерительной аппаратурой и ее программирования в большинстве лабораторных работ используется среда разработки LabVIEW [3]. Пример интерфейса управления измерительной аппаратурой в LabVIEW представлен на рис. 1.

Лабораторный курс имеет модульную структуру. Каждая из работ разделена на тематические разделы. Выполнение курса студенты начинают со знакомства с измерительными приборами из комплекта NI ELVIS II+.

На протяжении трех лабораторных работ учащиеся получают навыки работы измерительными приборами: осциллограф, анализатор спектра, цифровой мультиметр, генераторы сигналов.

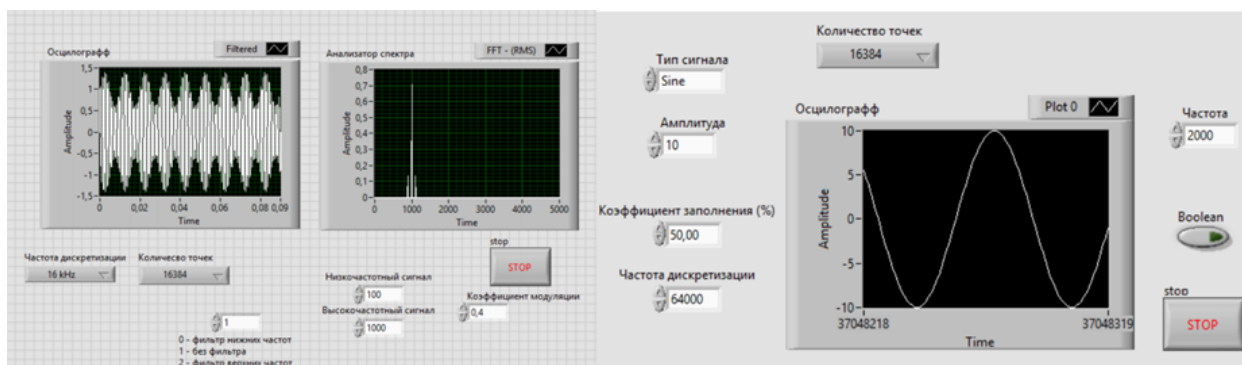


Рис. 1. Пример интерфейса управления измерительной аппаратурой в LabVIEW

Так как во многих измерительных приборах используются генераторы сигналов, то в следующем блоке лабораторных работ студентам предлагается ознакомление с одним из перспективных направлений генерации сигналов произвольной формы на основе прямого цифрового синтеза для лучшего понимания работы и возможности анализа некорректности показаний измерительного оборудования при их возникновении.

Следующая группа лабораторных работ посвящена проблеме автоматизации измерений. В одной из работ данного цикла студентам предлагается измерение диэлектрической проницаемости вещества в широком частотном диапазоне. Перерасчет первичных значений сначала проводится в ручном режиме, а после с применением программы автоматизации измерений, написанной в программе LabVIEW.

В заключительном блоке лабораторных работ студентам предлагается организовать удаленное управление измерительными приборами с использованием программ LabVIEW и TeamViewer.

Литература

1. Чернышев А.А. Технологии формирования профессиональных компетенций в образовании радиоинженера // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55, № 8-3. С. 263–264.
2. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NIELVISII: Руководство пользователя. URL: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/ni_elvis/ni_elvis_2_user_guide.pdf (дата обращения: 04.02.2019).
3. Манонина И.В. Применение программы LABVIEW для изучения вопросов поверки измерительных приборов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6, № 8. С. 50–52.

НАСЫЩЕННОСТЬ WEB БИБЛИОТЕКАМИ МОДУЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Р.В. Болвин, В.А. Шапцев

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
vr.bolvin@mail.ru, v.a.shapcev@utmn.ru

Представлен результат обзора Web-ресурсов (52 источника, до декабря 2019 г.), содержащих библиотеки программных модулей, реализующих модели и алгоритмы искусственного интеллекта (Machin Learning – ML). Цель обзора – дать компактный свод разработок в области ML для учащихся и разработчиков цифровой поддержки всех сфер деятельности. Отдельно представлены библиотеки на языках программирования, доступных учащимся университетов (Java, Python, Open source).

Произведена классификация библиотек по языкам реализации. Составлена таблица «библиотека-атрибуты», характеризующая мето- и задаче-ориентированность каждой библиотеки. В числе атрибутов: 1. Разработка моделей ML; 2. Обучение моделей ML; 3. Запуск моделей ML (в браузере); 4. Оптическое распознавание символов; 5. Компьютерное зрение; 6. Манипулирование данными; 7. Визуализация данных (в браузере / в среде разработки); 8. Анализ данных (Big Data); 9. Проектирование искусственных нейронных сетей (ИНС); 10. Обучение ИНС; 11. Запуск ИНС; 12. Обработка сигналов и изображений; 13. Математика (1) (классификация, регрессионный анализ); 14. Математика (2) (классификация, регрессионный анализ, кластеризация, анализ выживаемости, создание рекомендательных систем); 15. Математика (3) (оптимизация, статистика, линейная алгебра); 16. Научные вычисления (обработка многомерных матриц и массивов данных, линейная алгебра); 17. Распознавание образов; 18. Прототипирование; 19. Включение готовых моделей ML в приложения.

Всего известно более 40 таких библиотек для разработки серверной и клиентской частей интеллектуальных ИС, глубоких ИНС и Natural Language Processing [1]. Большинство из них новые, но готовы к апробации разработчиками. Библиотеки ML становятся доступнее. Ранее Python считался традиционным языком для ML.

Сейчас ИНС работают на многих языках программирования, включая JavaScript [2]. PHP, JavaScript и Node.js пока менее эффективны, чем Python и Java. Но они уже в состоянии справляться с многочисленными проблемами ML [3]. Достоинством Web-языков является их доступность как для понимания, так и для непосредственного использования: чтобы запустить проект ML на JavaScript необходимы только веб-браузер и среда разработки [4].

Обзор полезен студентам, магистрантам, аспирантам и начинающим разработчикам систем искусственного интеллекта и интеллектуальных информационных системах. Этот обзор может служить справочным материалом для выбора совокупности модулей, требуемых в разработке конкретной интеллектуальной ИС.

Литература

1. 11 JavaScript-библиотек для ML. URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/js-libraries-machine-learning/> (дата обращения: 07.10.2019).
2. Лучшие Javascript-библиотеки по Machine Learning 2019 года. URL: <https://datastart.ru/blog/read/luchshie-javascript-biblioteki-po-machine-learning-2019-goda> (дата обращения: 07.02.2020).
3. 9 проблем машинного обучения. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/machine-learning-ten-challenges/21193/> (дата обращения: 07.02.2020).
4. 10 примеров машинного обучения на JS. URL: <https://proglib.io/p/ml-js/> (дата обращения: 07.02.2020).

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ РАБОТЕ В REVIT ARCHITECTURE

С.В. Бородулина, О.Г. Кузнецова

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия
borodulina-svetlana@rambler.ru; o.g.sar@mail.ru

Моделирование архитектурного объекта в Revit имеет определенную, логически взаимосвязанную структуру. Предложенная система обучения выстроена в соответствии с алгоритмом построения BIM. В общем виде создание модели здания может быть определено как сквозной процесс проектирования, который обобщенно можно разделить на такие этапы как: подготовка модельных компонентов, моделирование здания, оформление спецификаций и чертежей.

Специалисты архитекторы и дизайнеры архитектурной среды для реализации проектного замысла могут рассматривать к использованию такие способы создания BIM-прототипов, как «сборка» и «концепция сборки». Способ «сборки» представляет из себя виртуальный процесс стройки из готовых элементов. Он имеет следующее системное строение: прежде всего это создание «коструктива» и «архитектуры» здания; далее инженерно-технических систем; затем аннотаций, спецификаций, листов; визуализация.

Создание «коструктива» и «архитектуры» здания начинается с каркаса из уровней и сетки осей; далее формируются ограждающие конструкции – стены; их отделка, параметры которой могут рассматриваться как физические для расчета и/или визуальные – для представления; заполнение проемов – окон и дверей; размещение мебели и оборудования; а также прочих архитектурных и конструктивных элементов.

Создание инженерно-технических систем заключается в работе по проектированию водоснабжения, водоотведения, вентиляции и т.п.

Далее работа с аннотациями, как элементами оформления и управления [1]. После работы со спецификациями, которые в понятии Revit являются инструментом по управлению и редактированию модели и представляют из себя настраиваемые таблицы [1] для отображения и подсчета модели здания, конструкций, системы и ее элементов.

Момент представления проекта по стадиям или как законченного, связан с созданием листов и размещением на них видов, то есть способов отображения модели в графическом (генплан, планы этажей и потолков, фасады, разрезы, 3D-виды) и информационном (спецификации, аннотации, легенды) контексте. В понятие визуализации входит представление модели в объеме, её видов, сечений, узлов и сцен статичного изображения или динамичного – видео обхода.

Способ «концепции сборки» заключается в создании формы и наделение/преобразование её в архитектурные составляющие. Данный способ имеет применение прежде всего на стадиях клаузулы и эскиз идеи, так как позволяет проектировщику использовать средства программы в качестве инструмента для реализации презентации концепта.

Данная программа достаточно объемна, и понимание всех её аспектов – трудная задача. Главным для успешного освоения является обобщение и структурирование теоретического информационного материала, в поле рассмотрения которого такие темы, как «Принципы работы в программе Revit», «Общая информация и основные термины программы Revit Architecture», «Использование и настройки структурных элементов программы», «Формообразующие», «Концептуальное моделирование», «Подложка, Топография и Генплан», «Оформление проекта», «Информационное наполнение модели». Также базовым является четкая постановка

задачи и логически выстроенная структура содержания в практической работе, которая начинается с постановки простых задач. Например, в задании «Линейные композиции заданных параметров» – отработка принципов работы с примитивами и инструментами редактирования. Далее более сложные работы, такие как «Создание каркасного дома со стропильной системой» или «Создание концептуальной модели здания на основе функционального зонирования», где производится работа с конструктивными и проектными параметрами.

В самостоятельной работе студент закрепляет усвоенный теоретический материал, а также повторяет и дорабатывает практические задачи. В поэтапно выстроенную систему входит: ознакомление с интерфейсом и инструментарием; моделирование компонента здания; моделирование по способу «сборки»; концептуальное моделирование здания; работа с элементами оформления, информационного наполнения и презентационного представления. Прежде всего, используется наглядный прием обучения – по инструкции и аналогии, а также практические методы для закрепления навыков и умений.

Даная концепция дает возможность наиболее полно освоить программу в минимальные сроки, предоставляя студенту инструмент для реализации практических задач проектирования и открывая путь к саморазвитию.

Литература

1. Якубенко А. Уроки Revit. 09.01.2015 // Интернет-журнал SAPR-Journal.ru. URL: <http://sapr-journal.ru/category/uroki-revit/> (дата обращения: 7.02.2020).

QR CODE BASED DATA STORAGE FOR SUPPLY CHAIN

Sergey Kudryashov¹, Yash Madhwal², Ivan Maslov¹, Yury Yanovich^{2, 3, 4}

¹Bitfury, Moscow, Russia

²Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

³Software Department, Bitfury, Amsterdam, The Netherlands

⁴Institute for Information Transmission Problems, Moscow, Russia
yashmadhwal@skoltech.ru, y.yanovich@skoltech.ru

Use of counterfeit plastic pipes has caused considerable financial damage to the states [1] and companies. This abstract proposes an integral use of QR-codes in blockchain for supply chain management system for its market.

Quick Response [2], QR in short, is a 2D barcode that can be read quickly by a cell phone and provide easy access to information. Every QR code consists of a number of black squares and dots which represent certain pieces of information. A unique digital information can be stored in the form of QR code and recorded on the blockchain [3]. The QR Code printed should be compatible with the material of what it holds the information and should easily attached to the material to derive information by scanning the QR code, the system looks at the unique information and then checks the on the blockchain. Our implementation ameliorates elements of the supply chain, with the help of printer and mobile application, in attaching the QR code to the material and in verifying and displaying the information existing on the blockchain.

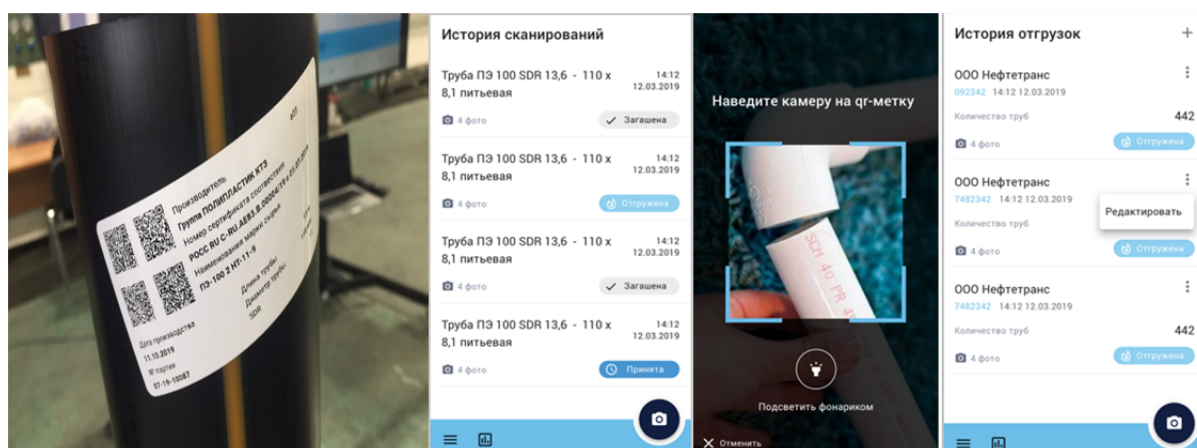


Fig. 1. QR-label on curved surfaced plastic pipe, label scan history in the application for pipe installers, scan QR code, shipment history tabs in the mobile application for distributors (From Left to Right)

Information about of raw materials and produced pipes comes from Enterprise Resource Planning (ERP) systems of any pipes manufacturers. Dishonest manufacturers are able to transmit wrong data and keep double-entry bookkeeping. To eliminate the possibility of double-entry accounting, materials will be labelled by QR. Information

about scanning the QR code is stored in a Exonum-based [4] distributed ledger in the proposed prototype, which will allow to track each pipe at all stages of the life cycle. It can make pipes' use and life cycles transparent, thus guarantee the invariability of pipes mass produced and used. The talk is devoted to a high-level technical description, containing ERP-blockchain connection and application for project-specific labels printing, mobile applications for manufactures and pipes installers.

Literature

1. Rupec News Agency. Volume of counterfeiting in the Russian market of polyethylene pipes exceeds 20%. 2017. URL: <http://rupec.ru/news/36240/>.
2. Denso-Wave. (n.d.). QR Code—About 2D Code.
3. *Korepanova D., Kruglik S., Madhwal Y., Myaldzin T., Prokhorov I., Shiyanov I., Vorobyov S., Yanovich Y.* (2019). Blockchain-Based Solution to Prevent Postage Stamps Fraud. 2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC). P. 171–175.
4. *Yanovich, Y., Ivashchenko, I., Ostrovsky, A., Shevchenko, A., & Sidorov, A.* (2018). Exonum: Byzantine fault tolerant protocol for blockchains. Bitfury.Com. P. 1–36.

ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ И ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

О.А. Широкова, Т.Ю. Гайнутдинва, М.Ю. Денисова

Казанский федеральный университет, Казань, Россия
shirokova2602@mail.ru

Современный период информатизации образования определяет необходимость обновления и совершенствования методики обучения математике в высшей школе. В связи с этим важными представляются вопросы интеграции обучения математике и информационным технологиям при подготовке будущих учителей математики.

Связь между математикой и информатикой основана на содержании данных предметов. Современные средства информационных технологий позволяют эффективно решать математические задачи [3-5]. В тоже время содержание курса высшей математики определяет характер материала, изучаемого в компьютерных дисциплинах, поскольку они могут использовать знания из всех разделов математики.

В статье предлагается методика, связанная с выполнением интегрированных проектных заданий, ориентированных на практическое применение полученных знаний по дисциплинам «Математический анализ», «Компьютерное моделирование» и «Программирование». Представлены примеры конкретных интегрированных проектных заданий.

Введение данной методики рекомендуется в связи с современным уровнем развития информатики, а также с проблемами, связанными с использованием визуализации пространственного моделирования объектов [1, 2, 6–8]. Именно использование средств мультимедиа технологий позволяет преподавателю разнообразить изучаемый материал новыми видами деятельности, насытить его наглядной информацией, повысить мотивацию обучающихся, их интерес к предмету. Студенты активно участвуют в процессе обучения, приучаются мыслить самостоятельно, выдвигать свои точки зрения, моделировать реальные математические объекты.

Создание и развитие методик, основанных на систематическом использовании информационных технологий, является необходимым и своевременным шагом на пути повышения результативности математического образования.

Литература

1. *Гайнутдинова Т.Ю., Денисова М.Ю., Широкова О.А.* Использование инновационных методов обучения при формировании профессиональных компетенций будущих учителей математики // Педагогическое образование в изменяющемся мире: сборник научных трудов III Международного форума по педагогическому образованию. Казань: Отечество, 2017. Ч. 1. С. 147–156.
2. *Денисова М.Ю.* Применение интерактивной среды GeoGebra при изучении определенного интеграла // Материалы VI Международной науч.-практ. конф. «Матем. образование в школе и вузе: теория и практика (MATHEDU-2016)», 25–26 ноября 2016 г. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. С. 218–220.
3. *Ларин С.В.* Компьютерная анимация в среде GeoGebra на уроках математики: [учеб. пособие]. Ростов н/Д: Легион, 2015. 192 с.
4. *Agoston M.* Computer Graphics and Geometric Modeling. Implementation and Algorithms. Springer, 2005. 920 p.
5. *Allen Leung, Arthur Man Sang Lee* Students' geometrical perception on a task-based dynamic geometry platform // Educational Studies in Mathematics. 2013. Vol. 82. P. 361–377.

6. T.Yu. Gainutdinova, M.Yu. Denisova, A.V. Smirnova, Z.F. Shakirova, O.A. Shirokova The use of dynamic geometry systems as a means of visual thinking activation for students who study mathematical analysis. 2019. Vol. 10. P. 1–5.
7. Gainutdinova T.U., Shirokova O.A. Features of Professional Teachers Training of Informatics in a Programming Course // Сборник IFTE. 2016. Vol. XII. P. 30–37.
8. Ziatdinov R., Rakuta V.M. Dynamic geometry environments as a tool for computer modeling in the system of modern mathematics education // European Journal Of Contemporary Education. 2012. № 1 (1). P. 93–100.

О НЕОДНОЗНАЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

М.И. Лугачев

МГУ, Москва, Россия

Разнообразный и часто взрывной характер формирования процессов цифровой экономики требует объективной оценки степени влияния этих процессов на общественное развитие. Отметим характерные черты цифровой экономики (ЦЭ).

Прежде всего, следует различать особенности проникновения ЦЭ в материальное производство и экономику услуг.

ЦЭ в разделе услуг характеризуют новые прорывные модели бизнеса – Uber, Instagram, Sharing Services, офисные боты, сервисные роботы, персонификация сервисов,... Новые сервисные модели бизнеса порождают исполинские предпринимательские компании, растущие с невиданной ранее скоростью. Эти компании носят название единорогов – если они успели достичь капитализации в \$1 млрд за 7 лет и суперединорогов – если эта сумма превысила \$10 млрд, как например, Toutiao (Bytedance), Uber, Didi, Airbnb, В большинстве случаев такой феноменальный эффект связан с персонификацией предоставляемых услуг за счет минимизации транзакционных издержек и отсутствия правовой основы применения новых моделей бизнеса.

ЦЭ в материальном производстве в гораздо большей степени основывается на новых возможностях, представляемых промышленными роботами, вооруженными технологиями искусственного интеллекта и интернета вещей. Это позволяет создавать безлюдное киберфизическое производство на предприятиях и формировать управление глобальными консорциумами в среде сетей информационных систем предприятий, входящих в консорциумы, в духе концепции Индустрия 4.0. Главным элементом промышленности в ЦЭ становится цифровой двойник объектов и процессов материального производства Теоретически появляется феномен безлюдного управления безлюдным производством.

Методически, главной чертой для сравнения цифровой и традиционной экономик является изменение роли данных в подготовке и принятии решений. Данные становятся активом, капиталом. Появляются новые модели бизнеса по аккумуляции данных, их преобразованию и превращению в товар. Пользователи интернета невольно становятся донорами агрегаторов данных, бескорыстно сообщая о себе исчерпывающие сведения в процессе получения удобных, полезных и якобы бесплатных услуг. Позже они осознают, что их персональные данные используются для манипуляций, в том числе и для реализации определенных моделей бизнеса, бенефициаром которого они никоим образом не являются. Появилась новая реальность: «капитализм подглядывания» - (surveillance capitalism), выросший на новых моделях бизнеса, связанных с заказами рекламодателей на размещение информации в интернете с учетом сведений об интересах пользователей, на основании сделанных ими кликов.

Анализ виртуальных следов, оставляемых в интернете пользователями позволяет сформулировать новые принципы маркетинга асимметричного характера. На этой же основе возникает политический маркетинг, уже ставший привычным инструментом организации выборных компаний различных уровней во всем мире.

Обсуждению этих и связанных с ними феноменов и будет посвящен наш доклад.

ЗАДАЧИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ВСЕПРОНИКАЮЩЕЙ НАЗЕМНО-ВОЗДУШНОЙ СЕТИ 6G

Ю.В. Гайдамака^{1, 3}, Е.А. Кучерявый², К.Е. Самуйлов^{1, 3}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

² Университет Тампере, Тампере, Финляндия

³ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Россия, Москва
gaydamaka-yuv@rudn.ru, evgeny.kucheryavy@tuni.fi, samuylov-ke@rudn.ru

С момента разработки стандартов 4G LTE в 2010 году исследовательские сообщества как в академических научных кругах, так и в индустрии проводили анализ для прогнозирования вариантов

использования и сценариев 2020-х годов, для определения технических требований и разработки соответствующих технологий, протоколов и сетевых архитектур в направлении стандартизации беспроводной сети следующего поколения (5G, 5-th Generation). Эта исследовательская фаза завершается, так как в настоящее время практически закончены стандарты и ожидается, что беспроводные сети 5G будут развернуты во всем мире в течение начала 2020-х годов. Настало время предварительных исследований, за которыми последует техническая подготовка к созданию беспроводных сетей следующего поколения (предположительное название 6G) на период до 2030-х годов. Такие исследования уже проводятся и их результаты публикуются научным сообществом [1,2].

Одной из отправных точек в обсуждении поколения 6G является анализ недостатков сетей 5G, подлежащих разрыванию. Сети 5G обещают обеспечить связь для широкого спектра вариантов использования в различных отраслях, причем многие из предполагаемых вариантов требуют сложных целевых значений для одного или нескольких ключевых показателей качества обслуживания QoS, таких как высокая скорость, высокая надежность, низкая задержка и высокая энергоэффективность. Тем не менее, фундаментальные принципы беспроводной связи показывают, что предоставление повсеместного «суперсоединения» в глобальном масштабе в плотно насыщенных беспроводными устройствами зонах – практически невозможно на базе очевидно устаревшей архитектуры наземной сети, так как для этого потребуется чрезмерно дорогое покрытие. Эта проблема только усугубится еще более сложными сценариями использования 6G, такими как высокочастотная сеть на беспилотных аппаратах БПЛА.

В докладе дается краткий обзор исследований, направленных на построение вероятностных моделей, предназначенных для анализа архитектуры сетей последующих поколений 2030-х годов. При построении таких моделей используются методы стохастической геометрии [3] и теория ресурсных систем массового обслуживания [4]. Исследователи считают, что мы находимся на пороге новой эры как фундаментальных исследований, так и инноваций в области интегрированных и всепроникающих наземно-воздушных беспроводных сетей.

Литература

1. Huang T., Yang W., Wu J., Ma J., Zhang X., Zhang D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies // IEEE Access. 2019. № 7. P. 175758–175768.
2. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture & Requirements // Proc. 10th Int. Congr. Ultra Modern Telecommun. Control Syst. Workshops (ICUMT). 2018. P. 1–8.
3. Enayati S., Saeedi H., Pishro-Nik H., Yanikomeroglu H. Moving aerial base station networks: Stochastic geometry analysis and design perspective // IEEE Trans. Wireless Communications. 2019. № 18:3. P. 2977–2988.
4. Горбунова А.В., Наумов В.А., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е. Ресурсные системы массового обслуживания как модели беспроводных систем связи // Информ. и её примен. 2018. № 12:3. С. 48–55.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ПЕНОБЕТОНА

А.И. Савенков, П.С. Горбач

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
savenkov_andrey@mail.ru, pgs@angtu.ru

Неавтоклавный пенобетон является эффективным и достаточно востребованным строительным материалом, однако его производство связано с такой проблемой как отсутствия современной методики оптимизации состава, основанной на выявлении необходимой подвижности смеси. Подвижность исходной растворной смеси матрицы, определяемой по расплыву смеси в вискозиметре Суттарда согласно СН-277-80, является в данном случае функцией многих факторов, таких как водотвердое отношение (В/Т), процентное содержание пластификатора, качества вяжущего, доли и природы заполнителя, наличия добавок. Но главным образом она зависит от водотвердого отношения. В/Т отношение при росте до определенного предела ведет к улучшению структуры и прочности ячеистых бетонов, но при увеличении подвижности смеси наблюдается явление расслаивания ячеистой массы и большие усадки [1–3].

Разработан подход к определению состава пенобетона, заключающийся в научно-обоснованном выборе компонентов исходной смеси при помощи компьютерной программы для определения оптимального состава растворной смеси с целью повышения технологичности и качества пенобетона.

Для начала расчета вводятся характеристики пенобетона, которыми необходимо задаться изначально: средняя плотность и соотношение заполнителя к вяжущему. Далее вводятся эмпирические данные, полученные экспериментально при помощи вискозиметра Суттарда в лаборатории или непосредственно на стройплощадке по нескольким значениям, которыми являются крайние и средние точки диапазонов входных параметров. Программа выдает в цифровой и графической форме значения целевой функции, необходимых для дальнейшего расчета состава пенобетона (рис. 1).

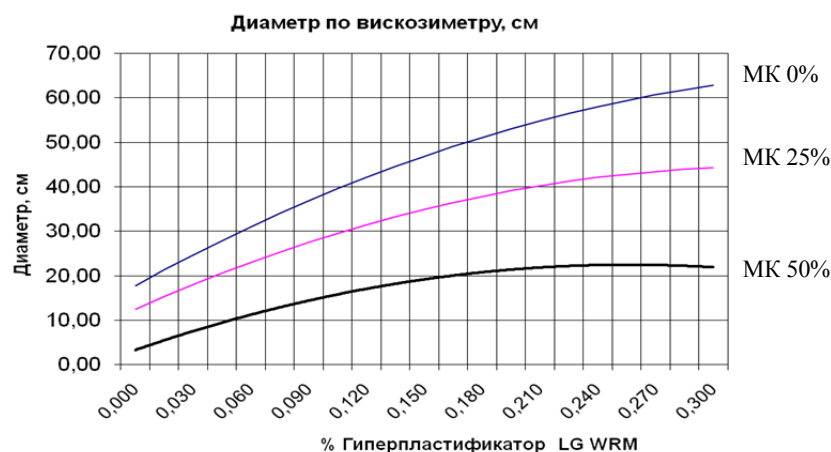


Рис. 1. Подвижность раствора матрицы по вискозиметру Суттарда в присутствии гиперпластификатора LG WRM – 505 при содержании в смеси микрокремнезема 0%–50%

В результате расчета выводятся уравнения регрессии и строятся графики подвижности раствора от двух наиболее значимых факторов, позволяющих определять водотвердое отношение исходного раствора для приготовления пенобетонов заданной средней плотности и соответствующей прочности. По этой величине вычисляется необходимое количество затворителя, вяжущего и заполнителя на кубометр пенобетонной смеси.

Литература

1. Савенков А.И., Горбач П.С., Щербин А.С. Неавтоклавный пенобетон. Факторы качества. Ангарск: Изд-во Ангарской государственной технической академии, 2013. 96 с.
2. Шахова Л.Д. Технологии пенобетонных. Теория и практика. М.: АСВ, 2010. 290 с.
3. Савенков А.И., Баранова А.А. Прочность и подвижность пеноцементной матрицы в присутствии пенообразователей // Материалы I международной научно-практической конференции «Теория и практика внедрения новых технологий и материалов в производстве и строительстве». М., 2012. С. 83–88.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЛУХОВОЙ АППАРАТ ЧЕЛОВЕКА

Д.П. Пищулина

АО Новосибирский приборостроительный завод, Новосибирск, Россия
rpf_96@mail.ru

Научная статья посвящается исследованию модели, которая описывает распространение звуковой волны, моделируя давления в ушной кромке. Полученная информация используется для разработки тонального аудиометра [1–5]. Для моделирования была использована программа Comsol Multiphysics 4.3. Модель человеческого уха основана на искусственной голове KU80, сделанной Георгом Нойманном и Ко в 1975 г. [6]. Ушная раковина покрыта кубом, используемым для приближения условий свободного поля и для реализации внешних звуковых полей в стенах [7–10].

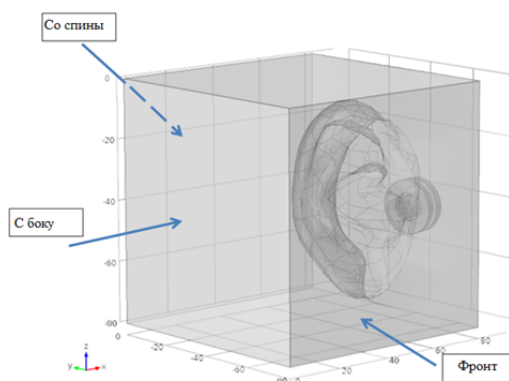


Рис. 1. Коробка моделирования ушной раковины

Литература

1. Medbe.ru слуха® – метод исследования органа слуха и слуховой трубы // Медицина – новости и технологии: профилактика и лечение болезней взрослых и детей. URL: <http://medbe.ru/materials/ukho/metody-issledovaniya-organa-slukha-i-slukhovoy-truby/>, свободный (дата обращения: 20.09.2017).
2. Euromax. Cochlear® – решения в области слуха // Портал о слухе. URL: <http://eu-max.ru/blog/audiogram/>, свободный (дата обращения: 27.09.2017).
3. Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии. М.: ДМК Пресс, 2003. 360 с.
4. ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012. Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 1. Тональная пороговая аудиометрия по воздушной и костной проводимости. М.: Стандартиформ, 2014. 31 с.
5. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Компьютерные технологии в медик-биологических исследованиях. Сигналы биологического происхождения и медицинские изображения: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2002. 240 с.
6. Krer H.W.R., Flege G. Artificial head for the electroacoustic recording of three dimensional sound field // Georg Neuman & Co, Audio Export. Tech. Rep. 1975.
7. Eletroacoustics - Simulator of human Head and ear. Part 4: Occluded-ear simulator for measurement of earphones coupled to the ear by means of ear inserts, International Standard IEC 60318-4 Std., 2010.
8. С. М. 4.4, Generic 711 coupler: An occluded ear canal simulator. Acoustic, 2013.
9. Kjaer B. Microphone. Handbook: For the Falcon range Microphone products, 1995.
10. Northrop R.B. Noninvasive Instrumentation and Measurement in Medical Diagnosis. CRC Press, 2002.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОПРОСНИКИ ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Д.В. Ефанов^{1,2}, В.В. Хорошев²

¹ ООО «ЛокоТех-Сигнал», Москва, Россия

² Российский университет транспорта, Москва, Россия
TrES-4b@yandex.ru, hvv91@icloud.com

Системы мониторинга в настоящее время широко внедряются во всех отраслях науки и техники, в т. ч. на объектах железнодорожных транспортных систем [1]. Датчиками мониторинга охватываются как объекты железнодорожной инфраструктуры, так и объекты подвижных единиц. Информация от датчиков централизуется и обрабатывается, что дает возможность осуществлять предиктивный анализ технического состояния объектов мониторинга, а также упрощать процедуры локализации дефектов при их возникновении. От качества функционирования системы мониторинга зависит, насколько оперативно будет предупрежден развивающийся дефект или как быстро будет найден неисправный компонент. Наиболее уязвимым местом современных систем мониторинга в железнодорожной отрасли является, прежде всего, недостаточно развитый уровень анализа диагностической информации, возможности достоверного прогнозирования и поддержки принятия решений оперативным техническим персоналом.

Для решения задачи совершенствования уровня анализа диагностической информации в системах мониторинга следует наиболее эффективно использовать достижения в области теории технической диагностики [2] и, прежде всего, в ее ветви, связанной со способами построения оптимальных алгоритмов диагностирования [3–5]. Алгоритмы диагностирования должны быть автоматизированы и адаптированы в программные средства современных систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры. По мнению авторов, весьма эффективным может оказаться применение для этих целей широко известной теории вопросников [6–8]. Предлагается ввести в рассмотрение новый класс вопросников – *динамические вопросники*. В таких вопросниках со временем возможны изменения всех или части параметров.

Вопросник представляет собой двойку множеств $\langle S, \Pi \rangle$, где $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, является множеством идентифицируемых событий, а $\Pi = \{\pi_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$, – множеством вопросов, необходимых для разделения первого. Каждый вопрос в вопроснике обладает такими параметрами, как основанием – числом исходов, ценой и весом, а каждый ответ – весом. Как правило, при использовании вопросников для какого-либо конкретного объекта задаются единственной формой вопросника с вопросами и ответами, имеющими вполне конкретные параметры [9]. Однако, как показывает практика, с течением времени изменяются не только надежностные характеристики объектов мониторинга, но и изменяются условия эксплуатации, при которых в вопроснике могут не только измениться сами вопросы и их формулировки, но и значения оснований, цен и весов вопросов и весов событий. Если во времени параметры вопросника изменяются, то он называется *вопросником с динамическими параметрами*, или (короче) *динамическим вопросником*.

Авторами исследования предложено использование динамических вопросников, интегрированных в программные средства систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры, исходные данные для которых генерируются на основании снимаемых массивов данных, исторически накопленных данных, динамически меняющихся структур вопросников и пересчитываемых параметрах цен и весов вопросов, а также

весов идентифицируемых событий. Такой подход позволяет на программном уровне систем мониторинга синтезировать *индивидуальные динамические вопросники* как для любых (в т. ч. однотипных) объектов железнодорожной инфраструктуры. Использование индивидуальных динамических вопросников позволяет на практике повысить эффективность процедуры мониторинга, а также уменьшить время поиска дефекта (отказа или предотказного состояния), что повышает не только качество мониторинга, но и качество перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

Литература

1. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 171 с.
2. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.
3. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства). М.: Энергоатомиздат, 1981. 320 с.
4. Аржененко А.Ю., Чугаев Б.Н. Оптимальные бинарные вопросники. М.: Энергоатомиздат, 1989. 128 с.
5. Аржененко А.Ю., Вестяк В.А. Дискретный поиск. Теория вопросников. М.: Изд-во МАИ, 2012. 159 с.
6. Пархоменко П.П. Вопросники и организационные иерархии // Автоматика и телемеханика. 2010. № 6. С. 163–174.
7. Аржененко А.Ю., Вестяк В.А. Модификация метода толерантных перестановок в почти равномерных компактных анкетах // Автоматика и телемеханика. 2012. № 7. С. 109–118.
8. Чугаев Б.Н., Аржененко А.Ю. Оптимальная идентификация случайных событий // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2013. № 2. С. 188–190.
9. Efanov D.V., Khoroshev V.V., Osadchy G.V., Belyi A.A. Optimization of Conditional Diagnostics Algorithms for Railway Electric Switch Mechanism Using the Theory of Questionnaires with Failure Statistics // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14-17, 2018. P. 237–245. doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524620.

ADAPTATION OF THE ELECTRONIC DEVICE DESIGN ROUTE USING RUSSIAN SOFTWARE

N. Utekhina, A. Solomatina

MIEM HSE, Moscow, Russia
ndutekhina@edu.hse.ru, ansolomatina@edu.hse.ru

Annotation. Today the development of Russian electronics is mostly using foreign computer-aided design systems (CAD). Because of sanctions Russia is facing a risk of losing access to foreign software products and systems. Since most of the Russian projects are using foreign CAD systems, a sudden switch to national software can cause significant difficulties in production. The transition to Russian software involves rebuilding the design route based on foreign CAD systems, due to the difference of the functionality of programs and file formats of engineering documentation. The purpose of this work is to assess the possibility of switching to Russian CAD systems and adjust the design route in accordance with them. The paper deals with the study and use of modern Russian CAD software, such as “KOMPAS-3D”, “Delta Design”, and “ASONIKA”, using the example of creating a low-frequency amplifier.

Object of research. Delta Design is a multifunctional CAD system that provides a full cycle of electronic circuit development [1]. This paper will use the SimOne for developing of an analog amplifier circuit, DeltaECB-a library of electronic components, and RightPCB - for creating an electronic circuit topology. Throughout the development cycle the end-to-end design method will be used. This method is presented on figure 1.

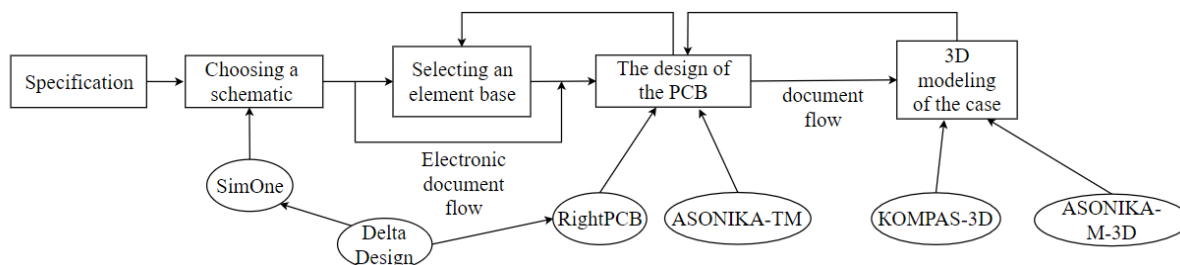


Fig. 1. End-to-end design method

After creating the topology, the next step is to create a case in the KOMPAS-3D CAD system [2], in which the case of the future device will be developed. Thermal and mechanical modeling will be performed in ASONIKA-TM [3] for the printed circuit board and ASONIKA-M-3D [3] for the device case.

Conclusion. As a result of the conducted research, it has become clear that the transition to Russian CAD systems is possible, but with some difficulties. CAD systems like "SolidWorks" and "Fusion 360" make it possible not only to create a 3D model, but also to perform thermal and mechanical modeling within the same software, but the closest

analogue of "KOMPAS-3D" is "AutoCAD", because there is no virtual simulation of thermal and mechanical effects. To solve this problem, ASONIKA is used. At the same time, Delta Design is a complete analogue of "Proteus" and "Altium Design", as it provides identical opportunities for creating analog circuits and topologies of electronic boards, with some differences in the interface and some convenient features. "SimOne" separately, as well as "Ni Multisim" is suitable only for creating circuit diagrams. All in all, the transition to national software is possible, but with some inconveniences, such as the use of additional software and complicated step of integrating of the software into a single system.

Literature

1. Official website of the developer EREMEX. URL: <https://www.eremex.ru/products/delta-design/>.
2. Official website of the developer KOMPAS-3D. URL: <https://kompas.ru/>.
3. Official website of the developer ASONIKA. URL: <https://asonika-online.ru>.

ПРИМЕНЕНИЕ АБСОЛЮТНЫХ МАГНИТНЫХ ЭНКОДЕРОВ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

А.А. Лаверик, С.Н. Эльхутов

Ангарский государственный технический университете, Ангарск, Россия
mexclot@gmail.com

В настоящее время на различных производствах нефтепереработки широко применяется метод неразрушающего контроля основывающийся на вибрационной диагностике. В основе использования этого вида контроля лежит проведение анализа спектров вибрации, получаемых во время работы исследуемого объекта. Данный вид контроля используют для оценки технического состояния машин роторного типа. Применения современных средств типа СОМРАХ, в основе работы которых лежит описанный выше вид контроля, для определения технического состояния машин поршневого типа малоэффективен [1].

В машинах поршневого типа сложнее всего диагностируются такие узлы как: клапанный механизм, стенки поршня и цилиндра, коренной и шатунный подшипники, пальцевое соединение шатуна и поршня, уплотнительные кольца поршня. Повышенный износ любого перечисленных узлов приводит к преждевременному отказу поршневой машины или контакту рабочего тела (у насосов и компрессоров) с маслом в картере поршневой машины [2].

Низкая эффективность применения анализа вибрации предположительно обусловлена тем что, в поршневых машинах располагаются крупные узлы, совершающие возвратно-поступательные движения, приводящие к изменению угловой скорости вала машины в зависимости от текущего такта.

Авторами предложен метод неразрушающего контроля поршневых машин [3] базирующийся на контроле неравномерности вращения коленчатого вала. Для определения наличия дефекта, полный оборот вала условно делится на сектора, связанные с воздействием на его угловую скорость определенных деталей поршневой машины и измеряется время, затрачиваемое на прохождение каждого сектора коленчатым валом. В исправном состоянии поршневой машины и с постоянной нагрузкой, время прохождения одних и тех же секторов остается неизменным, однако если в процесс вмешивается дефект, время поворота вала в пределах сектора изменяется. С помощью предлагаемого метода, можно не только определить наличие дефекта, но и локализовать его место. Для угловой скорости вала возможно применение энкодеров. Такие устройства подразделяют на абсолютные и инкрементальные. Однако их применение в промышленных насосах и компрессорах поршневого типа имеет свои особенности. Из-за того, что в картере поршневой машины находится масло применение инкрементальных энкодеров затруднено из-за возможности загрязнения оптического датчика. Применение абсолютных магнитных энкодеров является более предпочтительным. Данный вид устройств основан на изменении магнитного поля для определения угла поворота вала и не требует установки в нулевое значение после каждой остановки вращения вала.

В связи с этим актуальными задачами являются исследование возможности применения существующих в настоящее время энкодеров для определения угла поворота вала поршневой машины с высоким разрешением и разработка прибора, входящего в аппаратно-программный комплекс неразрушающего контроля поршневых машин, базирующийся на предложенном методе.

Литература

1. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. Пермь: ДимРус, 2012. 200 с.
2. Elkhutov S.N. Unit for measuring the temperature of moving parts of the crank mechanism // XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering, APEIE 2018, Novosibirsk, Russia, 2-6 oct. 2018: Proceedings, 2018. P. 39–41.

3. Лаврик А.А., Эльхотов С. Н. Применение датчиков угла поворота для неразрушающего контроля поршневых машин // Наука. Технологии. Инновации: тез. докл. всероссийской. конф., Новосибирск, 2–6 декабря 2019: в 9 ч. / под ред. А.В. Гадюкиной. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. Ч. 6. С. 191–195.

ВЫЯВЛЕНИЕ СЕТЕВЫХ ПРИЗНАКОВ МОНТАЖА В ФУРЬЕ-СПЕКТРЕ АУДИОСИГНАЛА

Д.Г. Портнягин¹, Е.И. Кравчук¹, А.И. Труфанов²

¹ ЭКО СУ СК России по Иркутской области, Иркутск, Россия

² Иркутский Национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
dportn@yandex.ru

Определение признаков монтажа в аудиозаписях, представленных в качестве доказательства, наравне с шумоочисткой, является одной из ключевых задач фоноскопической криминалистической экспертизы [1]. Стандартная методика определения наличия/отсутствия монтажа в аудиозаписи представляет собой достаточно длительный и трудоемкий процесс [2].

В данной работе рассмотрен алгоритм анализа аудиозаписей с применением такого, активно развивающегося в последние два десятилетия инструмента, как комплексные сети [3–6]. Известно, что анализируемый аудиосигнал можно представить в виде суперпозиции гармонических сигналов, различных частот [7]. В настоящем исследовании было предложено применить сетевой анализ не непосредственно к самому временному ряду сигнала, подобно [8], а к анализируемому аудиосигналу, предварительно подвергнутому преобразованию Фурье, тем самым заранее осуществить переход из пространства временного (time domain) в частотное пространство (frequency domain). Далее полученный Фурье-образ изучаемого сигнала с помощью набора различных алгоритмов (например, NVG и HVG [9]), преобразовывался в сетевую структуру, завершая тем самым переход в пространство сетевое (network domain). Дальнейший анализ проводился с сетевой структурой полученного Фурье-образа. Следует понимать, что внесение любых изменений в изначальный аудиосигнал влечет за собой нарушение «гладкости» каждой из гармонических функций, суперпозиция которых и представляет исследуемый сигнал. Данная «точка разрыва» проявляясь в частотном пространстве при анализе в рамках сетевой структуры обнаруживается как узел, значение связности которого проявляется как аномальное. Изолировав данный узел и выполнив обратное преобразование Фурье можно, с большой долей вероятности указать временную область (Δt) на записи первоначального сигнала, которая была подвергнута монтажу.

На синтетических моделях аудиосигналов продемонстрирована работоспособность данного метода и установлены границы его применимости. При этом отмечена чувствительность выявления монтажа к алгоритму конвертирования Фурье-спектра в комплексную сеть.

Литература

1. Korycki R. Authenticity examination of compressed audio recordings using detection of multiple compression and encoders' identification // *Forensic Science International*. 2014. Vol. 238. P. 33–46.
2. Техничко-криминалистическое исследование звукозаписей. Методика выявления признаков изменения фонограммы, оригинальности и непрерывности процесса звукозаписи «ДУЭТ». ФСБ России. Центр специальной техники. Институт криминалистики. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.М. Богданова. М., 2009. 54 с.
3. Vespignani A. Twenty years of network science // *Nature*. 2018. Vol. 558. P. 528–529.
4. Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavezf M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics // *Physics Reports*. 2006. Vol. 424. P. 175–308.
5. Costa L. da F., Rodrigues F.A., Traverso G., Villas Boas P.R. Characterization of complex networks: A survey of measurements // *Advances in Physics*. 2007. Vol. 56 (1). P. 167–242.
6. De Domenico M., Porter M.A., Arenas A. MuxViz: a tool for multilayer analysis and visualization of networks // *Journal of Complex Networks*. 2015. Vol. 3. P. 159–176.
7. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
8. Портнягин Д.Г., Кравчук Е.И., Труфанов А.И., Иванов А.С., Берестнева О.Г., Тихомиров А.А. Сетевые признаки наличия монтажа аудиосигнала // *Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной научной конференции / под ред. О.Г. Берестневой*. 2019. С. 338–343.
9. Lacas L., Luque B., Ballesteros F., Luque J., Nuño J. C. From time series to complex networks: The visibility graph // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008. Vol. 105 (13). P. 4972–4975.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЕСУРСОВ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.С. Климова, С.Д. Кодолов, А.Ю. Филимонов, К.А. Аксенов

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
@urfu.ru

Интенсивное проникновение Интернет-технологий во все сферы современного общества ведет к экспоненциальному росту нагрузки на существующую коммуникационную инфраструктуру. Применение решений, основанных на принципах виртуализации сетевых функций и ресурсов, в первую очередь было призвано повысить эффективность использования сетевой инфраструктуры благодаря динамическому распределению ресурсов между ее виртуальными компонентами [1]. Повсеместное внедрение подобных решений в инфраструктуру центров обработки данных привело к необходимости кардинального изменения традиционных подходов к управлению системами телекоммуникаций и к появлению концепции программно-конфигурируемых сетей (ПКС, Software-Defined Network, SDN), которая стала отправной точкой внедрения комплексной автоматизации в системы управления коммуникационными инфраструктурами [2].

Программное управление компонентами коммуникационной инфраструктуры открывает возможности для применения новых подходов к решению очень актуальной на сегодняшний день проблемы обеспечения требуемого уровня качества обслуживания Quality of Service (QoS) [3] для каждого из Интернет-приложений, реализуемых с использованием ресурсов этой инфраструктуры. Примером одного из таких подходов является Zero Touch Network and Service Management, представленный ETSI для построения нового поколения систем управления инфраструктурами программно-определяемых сетей (SDN) [4]. Базовые принципы этого подхода были первоначально изложены в [5] и включают в себя модельную ориентированность и локальное замыкание циклов управления (Closed-loop management Automation, CLA) что обеспечивает распределенное и полностью автоматическое управление «неприкасаемыми» инфраструктурами [6].

Принимая во внимание современные тенденции развития коммуникационных инфраструктур и средств их автоматизации, актуальным представляется исследование систем реализующих замкнутый цикл управления ресурсами коммуникационной инфраструктуры на основе традиционных и перспективных инструментов мониторинга и управления QoS. В работе рассматривается пример построения модели такой SDN инфраструктуры, основанной на принципах CLA, и результаты исследования ее динамических характеристик. Исследования выполнялись в составе специализированного лабораторного комплекса [7] с использованием аппаратных компонентов ведущих производителей коммуникационного оборудования.

Литература

1. Wang A., Iyer M., Dutta R., Rouskas G.N., Baldine I. Network Virtualization: Technologies, Perspectives, and Frontiers // Journal of Lightwave Technology. 2013. Vol. 31, is. 4. P. 523–537.
2. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks ONF White Paper April 13, 2012. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>
3. Quality of Service (QoS). URL: <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-quality-of-service-qos> (дата обращения: 11.01.2020).
4. ETSI introduces a new end-to-end architectural framework for network and service automation. URL: <https://www.etsi.org/newsroom/press-releases/1673-2019-10-etsi-introduces-a-new-end-to-end-architectural-framework-for-network-and-service-automation> (дата обращения: 08.01.2020).
5. Kephart J., Chess D.M. The Vision Of Autonomic Computing // Computer. 2003. № 36. P. 41–50. 10.1109/MC.2003.1160055.
6. Zero-touch network and Service Management (ZSM); Reference Architecture. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ZSM/001_099/002/01.01.01_60/gs_ZSM002v010101p.pdf (дата обращения: 08.01.2020).
7. Klimova A., Kodolov S., Filimonov A., Aksyonov K. Implementing dynamic management of virtual network infrastructure components // CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2525. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2525/ITTCS-19_paper_23.pdf

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ NETCONF-PROXY СЕРВЕРА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ

С.Д. Кодолов, А.С. Климова, К.А. Аксенов, А.Ю. Филимонов

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
sergey.kodolov@urfu.ru

Современная концепция управления «Инфраструктура как Код» (Infrastructure as Code, IaC) предполагает использование единого и универсального подхода для программного управления компонентами коммуникационной и вычислительной инфраструктуры. Один из распространенных способов реализации данного подхода основан на представлении конфигураций в виде XML-файлов, которые формируются с использованием YANG-моделей [1] и образуют базу данных управления. Управление оборудованием в этом случае представляет собой последовательность транзакций, которые могут выполняться как локально, так и с помощью протоколов сетевого управления, таких как NETCONF [2] и RESTCONF [3].

Реализация концепции IaC позволяет перевести решение задач управления на качественно новый уровень, благодаря использованию приложений, способных выполнять реконфигурацию компонентов инфраструктуры в реальном времени [4]. С целью обеспечения разработки и продвижения таких приложений для многих из популярных языков программирования созданы библиотеки [5], которые делают процесс автоматизации управления компонентами инфраструктуры доступным для широкого круга разработчиков. Аналогичный подход используется в популярных сегодня платформах управления конфигурациями, таких, например, как Ansible, Saltstack, Chef, Puppet, которые автоматизируют управление компонентами инфраструктуры современного предприятия с соблюдением требований по надежности и информационной безопасности [6].

Для обеспечения унификации и оптимизации систем управления современного предприятия актуальным сегодня представляется поиск решений, позволяющих обеспечить интеграцию в его инфраструктуру устаревшего испытательного или измерительного оборудования несовместимого по механизмам управления с базовыми протоколами и принципами IaC. В качестве такого решения в работе рассматривается применение прокси-сервера для управления периферийным оборудованием лабораторного комплекса, реализующего динамическое управление элементами сетевой инфраструктуры [7] на основании YANG-моделей элементов с использованием протокола NETCONF. В качестве инструментов реализации прокси-сервера рассматриваются популярные платформы, поддерживающие протокол NETCONF (такие, например, как lighty.io [8]), и реализованные NETCONF-сервера с открытым исходным кодом [9,10].

Литература

1. IETF RFC6244 An Architecture for Network Management Using NETCONF and YANG. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6244> (дата обращения: 08.01.2020).
2. IETF RFC6421 Network Configuration Protocol (NETCONF). URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6421> (дата обращения: 08.01.2020).
3. IETF RFC8040 RESTCONF Protocol. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc8040> (дата обращения: 08.01.2020).
4. *Kundrát J., Vojtech J., Skoda P., Vohnout R., Radil J., Havlis O.* YANG/NETCONF ROADM: Evolving Open DWDM towards SDN Applications // *Journal of Lightwave Technology*. 2018. P. 1–1. 10.1109/JLT.2018.2822268.
5. Netconf Central. URL: <http://www.netconfcentral.org/> (дата обращения: 08.01.2020).
6. Chef vs Puppet vs Ansible vs Saltstack: Which Works Best For You? URL: <https://www.edureka.co/blog/chef-vs-puppet-vs-ansible-vs-saltstack/>
7. *Klimova A., Kodolov S., Filimonov A., Aksonov K.* Implementing dynamic management of virtual network infrastructure components // *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2525. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2525/ITCS-19_paper_23.pdf (дата обращения: 08.01.2020).
8. lighty.io | SDN development at your fingertips. URL: <https://lighty.io/> (дата обращения: 08.01.2020).
9. *fortinet-solutions-cse / netconf-proxy* // репозиторий GitHub. URL: <https://github.com/fortinet-solutions-cse/netconf-proxy/blob/master/netconf-proxy.py> (дата обращения: 08.01.2020).
10. *vlvassilev/yuma123* // репозиторий GitHub. URL: <https://github.com/vlvassilev/yuma123> (дата обращения 08.01.2020).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУР В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПРИ СКВАЖИННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ МЕТОДОМ ГАММА-КАРОТАЖА

С.Г. Катаев¹, С.С. Катаева², А.А. Миллер³

¹Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия
sgkataev2010@yandex.ru

Данная работа посвящена исследованию возможности применения Метода Выявления Структур (МВС) при решении практически важной геофизической задачи – определения структуры подповерхностного слоя по данным, полученным методом гамма-каротажа, скважинных измерений. Ранее МВС применялся для решения традиционной задачи нахождения параметров потока случайных событий [1], а также для анализа пространственно-временного распределения природных событий на примере землетрясений и построения вероятностного прогноза о возможных местах появления события [2].

Поток случайных событий, являющийся стандартным объектом в теории массового обслуживания, представляет из себя упорядоченный набор случайных времен и анализируются разности $t_{m+1} - t_m$ времен между моментами прихода ближайших событий, m -го и $(m+1)$ -го. МВС позволяет отыскивать в потоке интервалы стационарности (ИС), если выделенные участки обладают пуассоновским поведением. Тем самым МВС определяет структуру потока либо аппроксимирует его подходящим МС-поток. Качество осуществленного разбиения на ИС определяется с помощью критерия Пирсона.

Одним из базовых применений метода гамма-каротажа (ГК) является литологическое расчленение разреза, то есть выделение границ в разрезе с привязкой их по глубине. Поток гамма-квантов, достигающих детектора прибора в скважине, представляет из себя случайный процесс, и под случайной величиной мы понимаем число импульсов на выходе фотоэлектрического устройства (ФЭУ) в единицу времени. При этом в каждый следующий момент времени прибор оказывается в новом положении в скважине против пород, имеющих в общем случае другое содержание радиоактивных изотопов. Мы сохраняем понятие ИС и в рассматриваемой здесь задаче, понимая под ИС последовательность идущих подряд номеров ряда измерений, при которых величины интенсивностей примерно одинаковы. Для проверки алгоритмов обработки данных прибора ГК был проведен модельный эксперимент. Для проведения этого эксперимента каротажный зонд аппаратуры СРП-68-02 был подключен к цифровой системе регистрации и произведена запись числа импульсов, приходящих с прибора за 5000 следующих друг за другом интервалов в 1 секунду. При этом радиационный фон, регистрируемый детектором прибора, менялся с помощью образцового источника гамма-излучения, который располагался на различных расстояниях от детектора прибора. Это расстояние менялось после регистрации каждых 1000 точек. Таким образом, было зарегистрировано 5 последовательностей точек по 1000 штук, в пределах каждой последовательности радиационный фон не менялся.

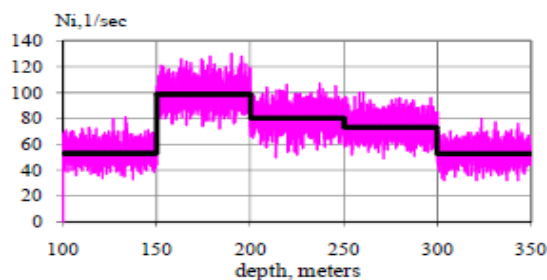


Рис.1 Исходные данные и результат обработки (жирная сплошная линия) модельного эксперимента.

На рис. 1 приведены исходные данные вместе с результатом работы алгоритма МВС. МВС также показал свою эффективность при обработке реальных данных.

Литература

1. Катаев С.Г., Катаев М.Ю. Математический формализм и алгоритм структурирования многомерных данных // Ползуновский вестник. 2012. № 2/1. С. 99–103.
2. Катаев С.Г., Катаева С.С. Исследование последовательности случайных природных событий методами теории массового обслуживания // Engineering and Mining Geophysics 2018: 14th Conference and Exhibition, Almaty, 23-27 april 2018. С. 1–10. URL: <http://www.earthdoc.org/publication/result?edId=547> (дата обращения: 12.11.2018).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУР В ЗАДАЧЕ СОРТИРОВКИ ОБЪЕКТОВ

С.Г. Катаев¹, С.С. Катаева², N.A. Antonyuk³, H. Kelderman³, M. Klein Wolterink³

¹Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³Staal Technologies B.V., Eindhoven, The Netherlands

sgkataev2010@yandex.ru

В работе рассматриваются приложения метода выделения структур (МВС) [1] к решению важной практической задачи – распознавания типа сырья, находящегося на движущейся транспортной ленте по данным отраженного радарного сигнала.

Выбор для решения этой задачи метода – МВС – связан с тем, что отдельное измерение не в состоянии дать однозначный ответ о природе (или о состоянии) отражающего объекта вследствие наличия шума. Для распознавания необходимо иметь в своем распоряжении набор из N подряд идущих измерений, который можно назвать «поток измерений». Даже для однородной среды из-за колебаний уровня поверхности и других факторов, этот поток будет представлять собой последовательность случайных чисел, колеблющихся около своего среднего значения. В случае, когда в поток попадают участки, содержащие разные материалы (или разные состояния одного и того же материала), колебания будут происходить около разных средних значений.

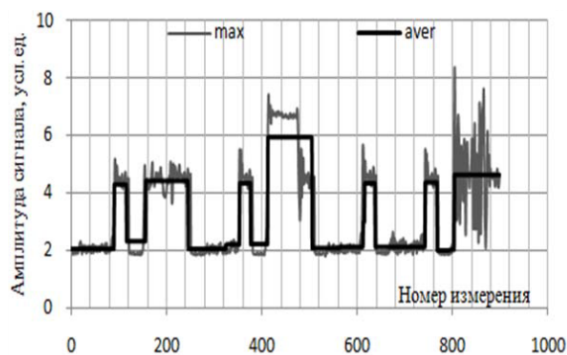


Рис. 1. Модельный поток и средние значения сигнала в профилях

Был проведен комплекс измерений сканирующей радиолокационной системой, разработанной в Staal Technologies B.V. [2]. Система включает в себя радиолокатор RC160A, 60 ГГц, и круглую диэлектрическую линзу с шириной луча главного лепестка 15° по уровню 3 дБ. Измерения производились над лотком, содержащим тот или иной материал. Радиолокатор перемещался вдоль лотка с шагом 1 см. Таким образом, каждый измеренный профиль включал в себя примерно 70 измерений. Анализ полученных сигналов позволил выделить в качестве информационного признака отраженного сигнала его экстремальные значения. На рисунке 1 представлен модельный поток, составленный из последовательности максимальных значений сигналов полученных экспериментальных профилей (поглотитель, песок, вода, древесные опилки) вместе с результатом работы алгоритма (жирные сплошные линии) – средними значениями выделенных интервалов стационарности. Видно, что метод позволяет с хорошей точностью определять границы слоев. Предлагаемый алгоритм МВС вместе с измерительным комплексом дает возможность определять не только вид сырья в случае достаточного контраста по отражательным свойствам на транспортной ленте, но и степень увлажненности продуктов, что может быть использовано, в частности, при контроле процесса высыхания.

Литература

1. Катаев С.Г., Катаев М.Ю. Математический формализм и алгоритм структурирования многомерных данных // Ползуновский вестник. 2012. № 2/1. С. 99–103.
2. Antonyuk N., Klein Wolterink M., Kataeva S., Kataev S. Advanced Signal Processing Method for Detection Surface Inhomogeneities from a Reflected Signal. Conference&Exhibition Near Surface Geoscience. 1st Conference on Geophysics for Infrastructure Planning, Monitoring and BIM. 9-12 September 2019, Hague, The Netherlands.

ОБЗОР МЕТОДОВ ВОСТАНОВЛЕНИЯ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Ф. Фоминых, В.Л. Хмелев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
alexandrafedorovna02@gmail.com

На кафедре радиофизики успешно развивается направление исследований по восстановлению радиоизображений. Разработанные системы используются в системах безопасности для поиска запрещенных объектов в одежде пассажиров поездов, самолетов, так же принципы радиовидения используются в решении задачи поиска людей за преградами, завалами, лавинами. Системы радиовидения восстанавливают форму исследуемых объектов на основе электрофизических параметров, например, диэлектрической проницаемости. Восстановление формы рассеивающих неоднородностей – это обратная задача, в приближении однократного рассеивания записывается как:

$$U_n(t) = \iiint_V \rho(r) \frac{S\left(t - \frac{|T_n - r| + |r - R_n|}{c}\right)}{|T_n - r| - |r - R_n|} dr;$$

где $U_n(t)$ – сигнал полученный в n -ом приемнике, $S(t)$ – сигнал излученный передатчиком, R_n – положение приемных антенн, T_n – положение передающих антенн, $\rho(r)$ – распределение рассеивающих неоднородностей. Для получения данных о расположении рассеивающих неоднородностей, необходимо обратить интеграл. Существует два чаще всего применяемых метода используемых в системах такого типа. Оба метода были разработаны для задач акустической сейсмологии, в последствии разработанная математика была адаптирована для радиоволновой гео-локации, перейдя от акустических упругих волн к электромагнитным. Первый из методов это метод миграции дифракционных гипербол во временной области [1, 2]

$$p(r) = \sum U_n \left(\frac{|T_n - r| + |r - R_n|}{c} \right);$$

$p(r)$ – изображение неоднородностей. Функции $\rho(r)$ и $p(r)$ могут отличаться, так как метод миграции решает задачу в приближении однократного рассеивания и не учитывает эффекты самозатмения, дифракции и переотражений. Второй метод – метод Столта [3]. В отличие от метода миграции он решает задачу не во временной области, а в частотной. Решение задачи записывается как:

$$P(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{P}(k_x, k_y, k_z) \cdot e^{ixk_x + iyk_y + izk_z} dk_x dk_y dk_z.$$

Оба метода способны восстановить радиоволновое изображение, но обладают своими положительными и отрицательными качествами, а, следовательно, используются в разных по назначению системах. Данная статья имеет обзорный характер и предназначена для магистров радиофизики интересующихся проблемами восстановления радиоволнового изображения.

Литература

1. Шитлов С.Э. Сверхширокополосное локационное радиовидение скрытых объектов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2018. 257 л. ил.
2. Апрелева С.В. Сравнительный анализ методов миграционных преобразований: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., 2002. 103 с.
3. Суханов Д.Я. Многомерная согласованная фильтрация в радио- и ультразвуковой томографии: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2015. 409 л.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ МОДУЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ*

В.А. Сурин¹, А.Н. Тырсин^{1, 2}

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

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

Обработка изображений одна из важных задач анализа данных. Для обработки изображений применяется достаточно большое количество математических методов. Одним из методов обработки который можно

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 20-41-660008 p_a.

применять для цифровых изображений является фильтрация на основе обобщенного метода наименьших модулей (ОМНМ). Модель фильтрации на основе ОМНМ особенно полезна для обработки цифровых контрастных изображений, где необходимо сохранить контрастную границу объектов.

В [1] был рассмотрен процесс возникновения аддитивного шума в цифровых контрастных изображениях. Было установлено, что распределение шума имеет нелинейный характер, что требует использовать нелинейные методы подавления шума. В [2] была исследована возможность применения модели нелинейного фильтра на основе ОМНМ для подавления шума в контрастном изображении, где в качестве функции потерь выступала функция арктангенса:

$$\rho(x) = \arctg(|x/\beta|^\alpha), \quad (1)$$

С параметрами $\alpha = \alpha(\sigma, h, A)$ и $\beta = \beta(\sigma, h, A)$, которые выбираются на основе характеристик зашумленного изображения 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 α и β меняются по следующему закону:

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

В [3] был описан алгоритм, реализующий подавление шума в цифровых изображениях фильтром на основе ОМНМ, включающий в себя вспомогательные модули, такие как поиск границ, построение карты градиентов, поиск уровня шума. Помимо подавления шума данную модель можно использовать и для задач обработки и анализа изображений. Свойство модели восстанавливать границу размытых объектов, обнаруженное в [3], можно использовать для восстановления контрастной границы объектов, которые по каким-то причинам были размыты. При обработке некачественного рентгеновского снимка, модель позволила выделить контрастную границу кости, что помогло произвести необходимые измерения.

Так как модель нелинейная она позволяет удалять также и импульсные шумы и различного рода артефакты. К таким артефактам могут относиться часто повторяющиеся инородные элементы на изображении, которые, как и шум, были получены при оцифровке изображения. Меняя форму апертуры и ее размер, удается избавиться от подобных артефактов, но при этом не размыть контрастные границы как произошло бы при применении, например, линейных фильтров. В задачах кластеризации также наблюдается положительный эффект от применения данной модели. Определенные настройки фильтра позволяют уменьшить число кластеров при кластеризации изображения обработанных фильтром.

Модель позволяет использовать различные функции потерь, а не только (1). Были проверены на работоспособность другие функции: $\rho(x) = \ln(|x/\beta|^\alpha - 1)$ и $\rho(x) = 1 - e^{-|x/\beta|^\alpha}$. Результаты, которые показывает фильтр при сравнении трех функций потерь, очень схожи как по качеству сглаживания, так и по времени выполнения. Но в большинстве случаев фильтр на основе функции потерь (1) опережает другие фильтры.

В докладе представлены результаты апробации фильтра на различных изображениях.

Литература

1. Сурин В.А., Тырсин А.Н. Исследование свойств цифрового шума в контрастных изображениях // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. № 8/2(59). С. 93–96.
2. Сурин В.А., Тырсин А.Н. Модель нелинейного фильтра для цифровой обработки контрастных изображений // Автометрия. 2018. № 2(54). С. 54–62.
3. Surin V.A., Tyrsin A.N. Non-linear filtering of noisy contrast images based on the generalized method of the least absolute values// Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2018. Vol. 5, № 2. P. 58–69.

АКТИВНЫЕ ДЕФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА СЕТИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ НА КОМПЛЕКСИРОВАННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Д.А. Акимов¹, В.П. Кулагин¹, А.А. Гуляев², Л.С. Коков²

¹ РГУ МИРЭА, Москва, Россия

² ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия
akimov_d@mirea.ru

В медицине, в частности в хирургии, возникает потребность управлять большими объемами поливариантных данных. Развитие научных и технических достижений в области машинного обучения

позволяет создавать бесконтактные интерфейсы реального времени на основе интеграции технологий компьютерного зрения, визуализации данных и бесконтактных интерактивных систем.

Совмещение данных дополненной реальности с данными проведенных ранее медицинских исследований наиболее полезны при операциях на органах с небольшим движением и деформацией (например, череп, мозг и поджелудочная железа), поскольку имеется возможность более четко определять края органа. Предложенные методы совмещения могут быть использованы в других операциях. Кроме того, методы отображения образов органов могут компенсировать отсутствие тактильной обратной связи, обычно возникающей во время лапароскопической хирургии, предоставляя хирургу визуальные подсказки, улучшая таким образом координацию рук и глаз, в том числе и в роботизированной хирургии. Используя комплексированное изображение МРТ, КТ-ангиографии и УЗИ реализуется индивидуальная подгонка разрезов и плоскостей резания, оптимального размещения троакаров и отображения положений основных компонентов органа.

Данные о строении кровеносных сосудов можно накладывать на полость операций используя распознавание контуров сосудов. Для этого разработана модель идентификации контуров сосудов в видеопотоке с помощью активных деформационно-статистических моделей воссоздания многомерных изображений.

Процедура обучения активных моделей внешнего вида начинается с нормализации положения всех форм для того, чтобы компенсировать различия в масштабе, наклоне и смещении. Для этого используется так называемый обобщенный Прокрустов анализ.

Процесс обучения здесь состоит из следующих шагов: извлечение из обучающих изображений текстур, которые наилучшим образом соответствуют базовой форме; с помощью кусочной интерполяции выполняется отображение полученных в результате триангуляции регионов обучающего изображения в соответствующие регионы формируемой текстуры; из текстур формируется матрица, каждый столбец которой содержит значения пикселей соответствующей текстуры (аналогично матрице S). Используемые для обучения текстуры являлись одноканальными (градации серого) и многоканальными (пространство цветов RGB).

Литература

1. Cootes T.F., Taylor C.J. Constrained active appearance models. Computer Vision // Proceedings of the eighth IEEE International Conference on Computer Vision. 2001. Vol. 1. P. 748–754.
2. OpenCV Library User Guide. Intel Research Lab, 2000. 420 p.
3. Bayes Th., Price R. An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chance. By the late Rev. // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1763. № 53. P. 370–418.
4. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. С. 432.
5. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. М.: Физматлит, 2006. С. 272.

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ: ДОСТУП К БД И МОДУЛЬ ОГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ

А.О. Климашевская, М.Л. Громов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
annaklim98@mail.ru

Любой современный компьютерный инструмент немислим без графического интерфейса. Это в равной степени справедливо и для инструмента по автоматизации составления расписания. Наша работа посвящена созданию графического интерфейса для системы автоматизированного составления расписания учебного заведения. В качестве внутренней модели инструмента была принята модель, предложенная в [1]. Центральным элементом данной модели является граф конфликтов событий. Чтобы сформировать этот граф, необходимо учесть, какие преподаватели читают какие предметы каким группам. Эта информация содержится в индивидуальных планах преподавателей и учебных планах студентов (групп). Было принято решение, что инструмент будет хранить её в базе данных.

Таким образом, разрабатываемый графический интерфейс состоит из двух основных частей: базы данных (БД) и оконного интерфейса. Функционал интерфейса включает в себя: удаление, добавление и изменение списка преподавателей, учет пожеланий преподавателей (например, если преподаватель не хочет вести занятия первой парой), модуль построения графа конфликтов, модуль построения доступных ресурсов.

На предыдущем этапе работы [2] мы разработали структуру БД и внешний вид окон графического интерфейса, а также был сделан модуль построения графа конфликтов событий на основе информации из БД. Под событием подразумевается так называемая «тройка» – «преподаватель-предмет-группа» (преподаватель читает предмет группе студентов). События являются вершинами графа конфликтов и считаются

конфликтующими, если у них совпадают номера группы или преподаватель, то есть если их нельзя назначить в одно и то же время в одном и том же месте.

В данных тезисах мы представляем текущий результат работы над интерфейсом. На данном этапе все окна нагружены своим функционалом, пользователь может непосредственно взаимодействовать с БД через интерфейс. Также сделан модуль построения доступных ресурсов. Под ресурсами понимаются аудитории в определенные моменты времени («день недели-номер пары»). Для каждого события есть список доступных ресурсов, который строится исходя из объективных причин: лабораторные занятия могут проводиться только в аудиториях, оснащенных специальным оборудованием, лекционные занятия для большого количества студентов (например, всего потока) могут проводиться только в больших аудиториях, т.е. учитывается количество человек в группах, объем аудиторий и т.д. Кроме того, принимаются во внимание пожелания преподавателей: если преподаватель не хочет вести занятия в определенное время, то для событий, включающих в себя этого преподавателя, ресурсы с этим временем будут недоступны.

В дальнейшем планируется добавить в функционал графического интерфейса отображение построенного расписания, а также организовать хранение расписания в БД.

Литература

1. *Mühlenthaler. M.* Fairness in Academic Course Timetabling. Switzerland: Springer, 2015. 147 p.
2. *Климашевская А.О.* Автоматическое составление расписания: интерфейс пользователя // Труды Шестнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов / под ред. В.В. Демина. Томск, 2019. С. 170–172.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Д.М. Сверчинская, М.Л. Громов

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

Расписание для студентов учебных заведений чаще всего составляется вручную, и эта задача вызывает огромные сложности у работников, которые над ней трудятся. Составление расписания – процесс трудоемкий, он требует большой осведомленности обо всех аспектах учебной деятельности. Поэтому создание системы автоматического составления расписания является актуальной и даже необходимой задачей. Естественным первым шагом при решении этой задачи является определение состава (архитектуры) такой системы.

Нами был выбран следующий состав системы: реестр предметов, реестр групп студентов, реестр преподавателей, реестр аудиторий, модуль учёта ограничений (пожелания преподавателей, привязка отдельных предметов к аудиториям и др.), модуль расчёта расписания и графический интерфейс системы, связывающий все модули. Задача составления расписания возникает в различных областях науки и техники. В каждой области предполагается рассмотрение своей формальной модели этой задачи, отражающей специфику области.

Для решения задачи в нашем случае мы используем модель, предложенную в [1]. Эта модель предполагает рассмотрение трёх сущностей: событие (преподаватель-предмет-поток), место и временной промежуток (время). Всевозможные пары «место-время» образуют множество ресурсов, события располагаются в вершинах графа конфликтов: два события соединены ребром, если их нельзя проводить одновременно. Тогда расписание – это функция, ставящая в соответствие событиям ресурсы так, чтобы два конфликтующих события не проводились одновременно, и никакие два различных события не ставились в соответствие одному и тому же ресурсу. В такой постановке задача построения расписания частично сводится к задаче раскраски графа конфликтов. Вершины (события) раскрашенные в один цвет можно проводить одновременно. Раскраску необходимо осуществлять с учётом доступности аудиторий. Кроме того, данная модель позволяет учитывать ограничения (пожелания преподавателей, привязки аудиторий и т.д.). Множество событий формируется из индивидуальных планов преподавателей и учебно-производственных планов групп студентов. Два события конфликтуют, если у них совпадают группы или преподаватели. Ограничения формируются из пожеланий преподавателей (например, не ставить первую пару), и предметов (например, лабораторные работы должны проводиться в специально оборудованных для этого аудиториях).

Было принято решение использовать для раскраски графа приближённый алгоритм [2], поскольку известные точные алгоритмы решают эту задачу за экспоненциальное время

На предыдущем этапе работы была реализована программа, строящая граф конфликтов и также программно реализован алгоритм раскраски графа [3]. Представляемый в данных тезисах этап работы посвящён построению расписания на основе раскрашенного графа конфликтов и ограничений. Ограничения задаются как функция α , отображающая событие в множество ресурсов, доступных для назначения этому событию. Функция α формируется на основании объективных ограничений (лабораторные работы должны проводиться в оборудованных для этого аудиториях, потоковые лекции

должны читаться в больших аудиториях и др.) и из личных пожеланий преподавателей (не проводить занятия первой парой, в субботу и т.д.).

Программа считывает обработанные вручную данные о противоречиях, составляет матрицу смежности графа конфликтов, раскрашивает граф, то есть помечает события, которые можно проводить одновременно, и присваивает аудиторию, опираясь на раскраску и функцию α . Работа программы опробована на данных полученных из расписания 3 курса радиофизического факультета Томского государственного университета (число потоков – 27, число предметов – 41, число преподавателей – 39).

В дальнейшем предполагается разобрать алгоритмы оптимизации расписания с разных точек зрения: равномерная загруженность студентов в течение недели, отсутствие «окон», чередование лекций и практических занятий, а также реализовать эти алгоритмы оптимизации.

Литература

1. *Mühlenthaler. M.* Fairness in Academic Course Timetabling. Switzerland: Springer, 2015. 147 p.
2. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1977. 432 с.
3. *Сверчинская Д.М.* Автоматическое составление расписания: модуль расчета расписания // труды Шестнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов / под ред. В.В. Демина. Томск, 2019. С. 194–196.

GLOBAL BRAIN AND BEYOND: A CONCERTED MODEL OF INTERACTING NETWORKS

A. Tikhomirov¹, A. Trufanov², S. Grigoryev², O. Berestneva³, Yu. Burkatovskaya³

¹ INHA University, Incheon, Republic of Korea

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

³ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
troufan@gmail.com

Introduction. Following to [1] Global Brain (GB) is a projected emergence of a new control structure from the coordinated interactions of human and machine agents. Essentially complex control structures emerge by integration of relatively primitive interacting actors which form a kind of a complex network. The GB combines all human beings (HB) with the worldwide network of information and communication technologies similar to cortex and concomitant activities of human body. In this regard there is a need in elaboration of reliable and transparent ontologies and tools to study interconnected complex networks similar to those successfully applied on the basement of interacting multilayered networks [2].

Model. Our early concept of Stem Networks (SN) [3] categorizes system actors as stems, the latter are stratified into nodes according to the nature of their couplings so that each thematic layer is reflected by ordinary plane graph. Note that GB might converge humans, natural and machine agents and must coordinate and connect huge and different varieties of them [1]. Just to model diverse natured systems a Combined Stem Network (CSN) was proposed and defined as a specific integration of interdependent SN-networks described on "beds" with nonoverlapping sets of stems, thematic layers and binary relations[4]. Some stems from different "beds" might be united into a group which is called a bouquet. Such a group of real objects - multiplet (pair, triple,..) includes nonrepeatable coactive stems of different beds. Thus bouquets are partitioned into stems which form nodes of networks of the same nature. Links within a stem, between different stem nodes of the same layer of the same network, and between stems taken from different networks are put in different categories. Links - between the stems inside a bouquet represent binary relations (interactions) such as "dependence", which differ from couplings - "connections» that govern interactions between the stems of a bed; couplings of "bindings"-type describe relationships between the nodes of the same stem. For deeper study GB might be modelled by a Collaborative Combined Stem Networks (CCSN), [5]. In this case some bouquets might be united according to additional requirements-constraints (for social and communication networks these are geographical, legal, and cultural ones) to form specific groups (rather societies than communities) which might be called boxes. Moreover, often real CCSN demonstrate poor concert because of contradictory constraints of diverse boxes.

Results. To provide such a key process as matching within GB CCSN model it is of value to make the entities comprehensible for actors of diverse boxes. All the nodes, stems, bouquets of different boxes should be compatible just to make GB work as a whole organism. Such a compatibility might be provided through special mechanism which set direct uniform links or those through an intermediary stems or Intermediator boxes, and thus composing a Concerted Collaborative Combined Stem Network (CCCSN). Several open source software instruments with libraries for graph and complex network visualization were utilized to prepare toy examples and thorough rendering.

Conclusions. An advanced CCCSN methodology with its qualitative description has been proposed as a comprehensive scope of global brain issues. The model includes multiplets of elements (boxes, bouquets, stems, beds, layers, nodes, links-bindings, links-connections, and links-dependencies) in order to formalize interactions of HB

networks with environment infrastructures. Concomitant practical interpretations of contemporary network phenomena become easier and clearer through application of the methodology. It is necessary to note that proposed network approach reflects the nature of domain analysis if compare with graphs focusing on formal specificities.

Literature

1. *Heylighen F.* The Global Superorganism: an evolutionary-cybernetic model of the emerging network society // *Social Evolution & History*. 2007. Vol. 6 (1). P. 58–119.
2. *Rapisardi G., Arenas A., Caldarelli G., Cimini G.* Multiple structural transitions in interacting networks // *Physical Review*. 2018. Vol. E 98. P. 012302.
3. *Tikhomirov A., Trufanov A., Caruso A., Rossodivita A., Shubnikov E., Umerov R.* Networks and Their Role in Counteracting Contemporary Global Threats: A New Model // *NATO Science for Peace and Security Series - E: Human and Societal Dynamics, Volume 100: Handbook for Pandemic and Mass-Casualty Planning and Response* / ed. by E. Gursky, B. Hrečkovski. IOS Press, 2012. P. 217–225.
4. *Ashurova Z., Myeong S., Tikhomirov A., Trufanov A., Kinash N., Berestneva O., Rossodivita A.* Comprehensive Mega Network(CMN) Platform: Korea MTS Governance for CIS Case Study // *Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016)* / ed. by O. Berestneva. Paris: Atlantis Press, 2016. P. 266–269.
5. *Ashurova Z., Tikhomirov A., Trufanov A., Kinash N., Berestneva O., Rossodivita A.* Network platform of program governance for E-Health service // *12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, 2017. P. 71–74.

DYNAMIC PRICING FOR DETERIORATING ITEMS TO REDUCE WASTE AT RETAILERS IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0

Anna V. Kitaeva¹, Natalia V. Stepanova², Zhang Yuanyuan¹

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Institution of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
kit1157@yandex.ru

There are a lot of inventory models for deteriorating items; see, e.g. reviews by Raafat et al. (1991), Goyal and Giri (2001), Bakker et al. (2012). The most recent review is written by Janssen et al. (2016), where the authors pointed out that the problem of waste reduction should be given more attention in future research.

Reducing of waste generation is a great way to *reduce* our impact on the environment. Options for waste reduction have a high priority, since waste disposal can be expensive and can cause environmental problems; see, for example, Curran and Williams (2012).

Price-setting inventory models with deterioration are considered in various settings in recent years; see for details Janssen et al. (2016). A deteriorating inventory model with price-dependent demand was first investigated by Eilon and Mallaya (1966). Cohen (1977) was one of the first to consider pricing and inventory decision for an exponentially decaying inventory under deterministic demand. A literature review on the problem of setting prices for perishable products can be found in Zhao and Zheng (2000).

In Kitaeva et al. (2019), we consider a perishable product with a fixed shelf life under fixed-order quantity policy and a compound Poisson demand with a highly price-sensitive intensity of customers' flow. A model of retail price control is investigated allowing us to sell a lot without leftovers almost surely during the product's lifetime. In Kitaeva et al. (2020), we consider a generalization of this dynamic pricing control model. These works are based on the ideas of A.F. Terpugov, who was one of the first in Russia to develop the mathematical theory for optimizing the retail trade of deteriorating products; see, e.g. Novitskaya et al. (2009). Currently, dynamic price management is of a great practical interest due to advances in digital technologies.

Now we are going to consider deterministic models for a continuously decaying product as well as for items with a fixed shelf life. The demand is supposed to be price-sensitive, and the product will be sold for sure if the price is low enough. That is the case, for example, in relation to essential goods.

For an exponential decay inventory; see, e.g. Nahmias (1982); we propose a dynamic price control model for a linear price-intensity dependence, which ensures zero inventory level at the end of a fixed period of time. For some sets of system parameters, the price is optimal in terms of maximizing the total profit. The costs of leftovers and lost sales are not considered. Lot-sizing task is also under consideration.

Literature

1. *Bakker M., Riezebos J., Teunter R.* Review of inventory systems with deterioration since 2001 // *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 221(2). P. 275–284.
2. *Cohen M.A.* Joint pricing and ordering policy for exponentially decaying inventories with known demand // *Naval Research Logistics Quarterly*. 1977. Vol. 24(2). P. 257–268.

3. Curran T. and Williams I.D. A zero waste vision for industrial networks in Europe // Journal of Hazardous Materials. 2012. Vol. 207–208. P. 3–7.
4. Eilon S., Mallya R.V. Issuing and pricing policy of semi-perishables // Proceedings of the 4th International Conference on Operational Research. New York: Wiley-Interscience, 1966. P. 776–783.
5. Goyal S.K. and Giri B.C. Recent trends in modelling of deteriorating inventory // European Journal of Operational Research. 2001. Vol. 134. P. 1–16.
6. Janssen L., Clau, T. and Sauer J. Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015 // International Journal of Production Economics. 2016. Vol. 182. P. 86–112.
7. Nahmias S. Perishable inventory theory: a review // Operations Research. 1982. Vol. 30. P. 680–707.
8. Novitskaya E.V., Stepanova O.G., Terpugov A.F. Optimizatsiya roznichnoy prodazhi skoroportyashcheysya produktsii. Barnaul: Publishing House Alt. University, 2009. 94 p. in Russian.
9. Kitaeva A.V., Stepanova N.V., and Zhukovskaya, A.O. Zero Ending Inventory Dynamic Pricing Model under Stochastic Demand, Fixed Lifetime Product, and Fixed Order Quantity // IFAC-Papers OnLine. 2019. Vol. 52(13). P. 2482–2487.
10. Kitaeva A.V., Stepanova N.V., and Zhukovskaya A.O. Profit Optimization for Zero Ending Inventories Dynamic Pricing Model under Stochastic Demand and Fixed Lifetime Product // IFAC-Papers OnLine. 2020. 6 p., in press.
11. Raafat F. Survey of literature on continuously deteriorating inventory models // Journal of the Operational Research Society. 1991. Vol. 42. P. 27–37.
12. Zhao W. and Zheng Y.-S. Optimal dynamic pricing for perishable assets with non homogeneous demand // Management Science. 2000. Vol. 46. P. 375–388.

УСКОРЕННЫЙ ПОИСК СОСЕДЕЙ В МЕТОДЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ*

П.Л. Новиков^{1, 2}, К.В. Павский^{1, 3}, А.А. Баранов^{1, 2}

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия
novikov@isp.nsc.ru

Метод молекулярной динамики [1, 2] широко используется для изучения физических процессов, протекающих на молекулярных масштабах в интервале времени от 10^{-15} с до 10^{-9} с. Технически он заключается в численном решении уравнения движения в системе многих частиц (атомов). Значительная часть машинного времени при этом затрачивается на определение ближайших соседей для каждого атома системы. От положения этих соседей зависит действующая на атом сила. Число операций на составлении массива соседей в системе из N атомов составляет порядка N^2 [3].

В данной работе показано, что поиск соседей может быть значительно ускорен за счет использования быстрой сортировки и перенумерации атомов с целью сокращения области поиска потенциальных соседей. В неотсортированном массиве индекс атома не связан напрямую с его положением в пространстве. Соседние индексы могут относиться к атомам, находящимся на большом расстоянии друг от друга. После сортировки возрастающим индексам соответствуют увеличивающаяся вдоль одной из декартовых осей координата. Поэтому для поиска соседей i -го атома в отсортированном массиве достаточно опросить только те атомы, индексы которых находятся в интервале от $i-m$ до $i+m$, где $m \ll N$. Кроме того сортировка производится один раз на несколько временных шагов, в то время как поиск соседей обычно осуществляется на каждом временном шаге. Поэтому сортировка приводит к значительному ускорению процедуры поиска ближайших соседей. Сложность ускоренного алгоритма $O(\log(N) N) + O(N)$ против $O(N^2)$ изначального. Испытания на тестовых массивах (моделируемых кристаллических структурах численностью 10^4 атомов) показали, что за счет применения быстрой сортировки достигается 6-8-кратное ускорение поиска соседей.

Также в работе методом МД проведен анализ термодинамически выгодных морфологий поверхностных наноструктур при гетероэпитаксии Ge на структурированных подложках Si (подложках, на поверхности которых методом литографии создана система пространственно-упорядоченных ямок одинакового размера и формы).

Литература

1. Frenkel D., Smit B. Understanding molecular simulation. Academic Press, 1996.
2. Novikov P., Atovullaev T., Smagina Zh., Dvurechenskii A., Pavskii K. Effect of Interstitials Embedded in Pre-Patterned Si Substrate on Location of Ge Nanoislands // Phys. Stat. Sol. 2017. Vol. 14. P. 1700200(3).
3. Verlet L. Computer 'experiments' on classical fluids. I. Thermodynamical properties of Lennard-Jones molecules // Phys. Rev. 1967. Vol. 159. P. 98–103.

* Работа выполнена при финансовой поддержке программ фундаментальных исследований: СО РАН (ГЗ 0306-2019-0019) и Президиума РАН № 2 (Подпрограмма «Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров»).

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ НОТ С РЕЗКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТ ОСНОВНОГО ТОНА

А.Ю. Якимук^{1, 2}, Е.С. Катаева¹

¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
yay@keva.tusur.ru, kes@keva.tusur.ru

Разработанный программный комплекс [1] включает в себя алгоритм распознавания нот. Принцип работы алгоритма распознавания нот в вокальном исполнении, применяемый в программном комплексе, заключается в следующем. Для каждого момента времени определено значение частоты основного тона, поэтому возможно определить, какая нота «прозвучала» в данный отсчет. Определение частоты основного тона осуществляется по алгоритму, основанному на модификации математической модели слуховой системы человека, представленной в [2]. Предварительное тестирование программного комплекса [3] показало, что повышение качества идентификации нот возможно при расширении диапазона охватываемых частот и определении ситуаций, снижающих точность работы алгоритма.

Проведенные испытания алгоритма показали, что при обработке аудиозаписей, включающих различные подходы к исполнению нот в диапазоне от 70 до 800 Гц, программный комплекс позволяет распознать более 95% спетых диктором нот. Было определено, что при пении арпеджио, крещендо и декрещендо отсутствует влияние на качество работы алгоритмов в программном комплексе. Отсутствие влияния на качество идентификации нот заключается в том, что в алгоритме при анализе учитывается только частота основного тона. Было определено, что ошибки возникают для ситуаций с подходами, подразумевающими изменение значения частоты звучания [4] в процессе исполнения: вибрато и глиссандо.

Успешное применение метрики выделения синхронности [5] в задаче определения сходства вокальных исполнений послужило отправной точкой в исследовании применимости методов математической статистики в задаче обработки вокального исполнения. В докладе излагаются результаты обработки сигнала с помощью различных методик анализа временных рядов для локализации основной ноты при наличии в исполнении вибрато или восходящего/нисходящего глиссандо – в частности, для устранения влияния вибрато на качество распознавания ноты были использованы наиболее известные приемы сглаживания. Идея применения сглаживания для нахождения эффекта вибрато заключается в оценке отрезков речевого сигнала, в рамках которых не удалось идентифицировать ноту. Данные по частотам в данном отрезке усредняются с целью локализации главной ноты, относительно которой в процентном соотношении определяется отклонение в звучании и периодичность изменений. В случае отклонения от основной ноты более чем на полутон, частоты воспринимаются как шум. Данная методика позволит определить не только чистую ноту, но и ноту спетую, с тремоляцией в голосе. Также следует отметить, что оценка периодичности колебаний в исполнении ноты, позволит классифицировать их как вибрато, тремоляцию и качание голоса.

Литература

1. Konev A., Kostyuchenko E., Yakimuk A. The program complex for vocal recognition // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 803, № 1. P. 012077.
2. Конеv А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2007.
3. Якимук А.Ю., Егoшин Н.С., Осипов А.О., Боков И.М. Повышение качества идентификации нот в автоматизированной системе распознавания вокала // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2016. № 1-2. С. 29–32.
4. Якимук А.Ю. Влияние вибрато на качество распознавания нот в вокальном исполнении // Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем: материалы VII Международной молодежной научной конференции. Сер. «Физико-математическая» / под общ. ред. И.С. Шмырина. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. С. 215–220.
5. Катаева Е. С., Якимук А.Ю. Применение метода выделения синхронности при оценке сходства вокальных исполнений // Доклады ТУСУР. 2019. Т. 22, № 3. С. 49–54. DOI: 10.21293/1818-0442-2019-22-3-49-54

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССА АГГЛЮТИНАЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ

Ю.А. Розенбаум¹, А.А. Аристов¹, М.А. Шульгина¹, К.А. Розенбаум²

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия
julia-rozz@mail.ru

В клинической лабораторной диагностике агглютинация эритроцитов оценивается для определения группы крови человека [1]. Основным методом типирования крови человека в клинической лаборатории

является метод типирования с использованием моноклональных антител – цоликлонов. Интерпретация анализа производится медицинским работником. Недостатками метода являются субъективный фактор и большой расход реагентов и биологического материала [2–4]. Исходя из вышесказанного, актуальной остаётся задача разработки устройства с использованием малых объёмов крови, реактивов для анализа, автоматического определения группы крови с использованием информационных технологий [5]. В результате экспериментальных исследований доказан факт, что метод фотометрирования капельных образцов при создании механических колебаний в образцах цельной крови при добавлении цоликлонов позволяет осуществить оценку процесса агглютинации и на основе данного анализа определить группу крови. При наличии агглютинации в исследуемом образце среда становится более прозрачной, и капельный образец в результате того, что он имеет форму линзы, начинает фокусировать световой поток, прошедший через него. Вследствие наличия просветления образца, происходит резкое изменение светового потока, проходящего на приёмник, возрастает напряжение на выходе фотопреобразователя. Наличие процесса агглютинации даёт возрастание напряжения в 2-3 раза по сравнению с первоначальными данными напряжения капельного образца. При отсутствии в исследуемом образце агглютинатов в капельном образце наблюдается образование мутной среды из реактива и исследуемого биологического образца, следовательно, не происходит возрастание напряжения на выходе фотопреобразователя. Контролем отрицательной агглютинации была взята проба цельной крови разведённой физиологическим раствором в том же соотношении, как в опытных образцах.

Анализ разницы напряжений на входе и на выходе фотоприёмника, сравнение разницы напряжений с контрольными значениями, вывод результата анализа на дисплей прибора – основные задачи для программного обеспечения прибора. Созданная нами программа строит график зависимости напряжения от времени при проведении анализа, находит напряжение на входе и на выходе фотоприёмника, считает разницу напряжений в начале и в конце исследования, сравнивает разницу напряжения с контрольным значением (получено на другом анализируемом канале). Для полного анализа группы крови используется несколько видов моноклональных антител, поэтому прибор имеет 5 каналов. Программа анализирует данные сигналов напряжения со всех каналов, после анализа получает 5 различных вариантов положительных и отрицательных значений процесса агглютинации для каждого исследования от одного биологического материала. После анализа выдаёт результат о группе крови.

Создание программного обеспечения для прибора, которая сможет определять положительный или отрицательный результат агглютинации, анализировать полученные данные с каналов и выдавать итоговый ответ по определению группы крови поможет минимизировать ошибку выдачи неверного результата анализа, реактивы, биологический материал.

Литература

1. Afshari P., Abolfathi N. A novel method for blood-typing using nitrocellulose // *Biomedical Chromatography*. 2017. Т. 31, № 7. P. e3908.
2. Alter H.J., Klein H.G. The hazards of blood transfusion in historical perspective // *Blood*. 2008. Т. 112, № 7. P. 2617–2626.
3. Avent N.D., Reid M.E. The Rh blood group system: a review // *Blood*. 2000. Т. 95, № 2. P. 375–387.
4. Chang C. et al. Evaluation of Erytra® fully automated analyser for routine use in transfusion laboratory // *Transfusion medicine*. 2014. Т. 24, № 1. P. 33–38.
5. Doubrovski V.A., Medvedeva M.F., Torbin S. O. An acousto-optical method for registration of erythrocytes' agglutination reactions: color influence on the resolving power // *Optics and Spectroscopy*. 2016. Т. 120, № 1. P. 58–64.

GENERALIZED POLYGONS

S.P. Trofimov

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
tsp61@mail.ru

In optimization problems, the set of feasible solutions, the ways of defining this set and the features of the objective function play the main role. In linear programming problems, the feasible set is a polyhedron [1]. However, many methods, for example, the simplex method use only the edges of this polyhedron.

This paper proposes a generalization of the concept of a polyhedron [2]. We propose new definition of polyhedron frame. The article deals with the two-dimensional case of an ordered system of linear inequality constraints. Each edge is defined by a subsystem from three successive constraints of the original system. Each subsystem consists of two cutting inequalities and one equation. If one of these subsystems is inconsistent, then we get an invisible polyhedron edge. For a generalized polygon, dual construction is constructed. This dual object consist of three-dimensional points. Some points may be not visible. The approach allows one to encode any image that has the form of a non-convex and non-closed polygon. Examples of such images are line fonts, figures in the style of string-art, encoding information using the so-called glyphs.

We consider generalized polygons also in three-dimensional space. Therefore, we can create three-dimensional contour image, for example, crystal lattices.

We use this approach to construct very small geometric structures. We call them nano images. Viewing such images requires a corresponding increase in many orders. The process of moving such objects is complicated by the high sensitivity of the image to a change in the source data. For defining line nano images, we store not the vertex points of the polygon, but the line coefficients.

Line coefficients are exact rational fractions. These coefficients and their accuracy are stored in memory. We move lines by smooth changing of the accuracy of coefficients. We propose a new way of defining numbers in a continuous base system. This method provides continuous and smooth movement of straight lines. As a result, generalized polygons allow the formation of smooth contour nano images.

Program allows one to simulate line images with nano sizes.

Literature

1. *Eremin I.I., Astafiev N.N.* Introduction to the theory of linear and convex programming. M.: Nauka, 1976. 191 p.
2. *Trofimov S.P., Leyserov O.E.* Generalized polygons and processing of graphic information presented in the form of disconnected broken lines // Herald of the Ural State Technical University-UPI. 2005. № 1. P. 85–90.

РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АГГЛЮТИНАЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ

А.А. Аристов, М.А. Шульгина, Ю.А. Розенбаум

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

В настоящее время в процессе любой операции требуется определение группы крови пациента, что требует автоматизации данного исследования с использованием портативных приборов. На данный момент оценка реакции специфической агглютинации эритроцитов, которая лежит в основе методик определения группы крови, в большинстве случаев выполняется вручную. В результате чего возможна ошибка определения и затрачивается достаточно много времени на анализ. Следовательно, актуальной является задача разработки автоматизированных, портативных устройств для типирования крови.

В России, а также за рубежом ведутся исследования по разработке методов автоматического определения агглютинации. Например, в работе [1] регистрация процесса агглютинации основана на изменении плотности вещества и повышении давления на пьезорезонансный датчик. В.А. Дубровским и др. [2–3] разрабатывается акустооптический метод регистрации агглютинации эритроцитов. Метод заключается в сочетании действия ультразвука на реакционную смесь «кровь-сыворотка-физиологический раствор» с дальнейшим ее оптическим зондированием.

Нами также ведутся исследования по автоматизации данного анализа. И для его проведения был предложен метод регистрации процесса агглютинации на основе фотометрии капельных образцов [4]. В исследованиях было показано, что при вибрационных воздействиях на каплю крови, в которой происходит процесс агглютинации эритроцитов происходит значительное изменение светопропускания образца. Использовалась методика типирования цельной крови на основе цоликлонов. Показано, что на результат анализа в значительной степени влияет характер вибрационных воздействий на каплю крови. В пилотных испытаниях вибрация капель осуществлялась с использованием устройства построенного на базе электромагнитного блока фокусировки CD-ROM. Однако ввиду наличия зависимости амплитуды колебаний от частоты возбуждающего сигнала данное устройство не позволяло проводить сравнительные исследования агглютинации на разных частотах.

Поэтому мы разработали вибрационную платформу лишенную данного недостатка. В данном устройстве возвратно-поступательные движения кювет с капельными образцами обеспечиваются с помощью винтового привода, вращаемого шаговым двигателем. Задавая скорость вращения и число шагов двигателя можно управлять амплитудой и скоростью перемещения платформы. Управление шаговым двигателем осуществляется посредством микроконтроллера. Для подключения шагового двигателя к микроконтроллеру необходим драйвер. Органами управления являются кнопки, по нажатию которых оператор может менять амплитуду и частоту вибрации, а также скорость перемещения каретки. Значения заданных параметров вибрации выводятся на ЖК-дисплей. Платформа обеспечивает частоту колебаний от 1 до 50 Гц, амплитуду от 0,3 до 5 мм и скорость перемещения от 1 до 200 мм/с.

Используя данное устройство, будут проведены эксперименты по нахождению наиболее подходящих параметров вибрационных воздействий с целью точного выявления процесса агглютинации.

Литература

1. *Тархов Н.С., Стекачева В.Л.* Портативное устройство для экспресс-диагностики группы крови // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 12. С. 9–18.
2. *Doubrovski V.A., Medvedeva M.F.* The Acousto-optical method for blood typing based on discrete processing of photographic images // Biomedical Engineering. 2016. № 2. P. 78–83.
3. *Doubrovski V.A., Medvedeva M.F., Torbin S.O.* An acousto-optical method for registration of erythrocytes' agglutination reaction – sera color influence on the resolving power // Optics and Spectroscopy. 2016. № 1. P. 58–64.
4. *Арустов А.А., Носова Е.В., Солдатов А.Н.* Применение метода фотометрии лежащих капель для задач клинической лабораторной диагностики // Медицинская техника. 2016. №5. С. 19–22.

УМНЫЙ ГОРОД КАК ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ: BIM, GIS, CIM, ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Г.Б. Захарова

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

В последнее десятилетие резко возросла интенсивность цифровизации городской среды. Системное представление об умном городе менялось в процессе его эволюции, трансформируясь от технократического к гуманитарному, при котором сам гражданин активно вовлекается в процесс управления городом. Стремительно развивается комплекс информационных технологий, влияющий на уровень интеллектуализации города. В данной работе на основе обзора и анализа российских и зарубежных источников показаны развитие, взаимосвязи, иерархия, интеграция, трактовки в зарубежном и российском сегменте таких понятий, как умный город (smart city), информационная модель здания (BIM), геоинформационная система (GIS), информационная модель города (CIM), цифровой двойник (digital twin) города, интернет вещей (IoT), большие данные (big data).

Технологии умного города в России получили активное развитие в связи с поддержкой на государственном уровне: разработан ведомственный проект «Умный город» Минстроя РФ в составе национального проекта «Жильё и городская среда», являющегося частью национальной программы «Цифровая экономика РФ». В марте 2019 г. подписан документ – «Стандарт умного города», на основе которого формируются региональные стандарты. Интернет-портал «Умный город» содержит актуальную информацию по проекту и в том числе, «Банк решений умного города», в который поступают готовые системы автоматизации по таким направлениям, как энергоэффективность, безопасность, управление отходами, водо-, энерго- и теплоснабжение, транспорт, строительство, экология, информационный город.

Для оценки эффективности проводимых изменений Министерством строительства и ЖКХ разработана методика формирования индекса качества городской среды. На методику есть ссылка на сайте <https://индекс-городов.рф>, там же приведены итоги по 2018 году и показаны в виде интерактивной карты. Городская среда признана благоприятной в 23% российских городов. Подготовлен также проект по показателям IQ городов <https://russiasmartcity.ru/documents/24>, участвующих в реализации проекта «Умный город» по 10 направлениям цифровой трансформации городского хозяйства.

Как отмечено в «Стандарте умного города» в разделе «Городское управление», **цифровой двойник города** будет строиться на основе информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, в основе которых лежат **GIS** для решения задач управления ресурсами. Один из примеров – г. Уфа [1], где развивается муниципальная система, содержащая сотни тематических слоёв. По каждому фрагменту территории города имеется почти вся информация по инженерной инфраструктуре, транспорту, жилому фонду и многому другому. Системы мониторинга, управления имуществом, взаимодействия с населением и др. позволяют решать актуальные задачи управления и отрабатывать различные сценарии развития.

В области информационного моделирования зданий (**BIM**) в настоящее время накоплен огромный опыт. Это отмечено в обзоре [2], выполненном на основе анализа сотен публикаций по теме BIM. В частности, в работе показано, что BIM в части эксплуатации (O&M) все еще находится на ранней стадии.

Если соединить платформу GIS с полноценным иерархическим BIM представлением (в том числе, 3D) городских объектов, то можно говорить о новой концепции информационного моделирования города – **CIM**, в которой интегрирована информация по природному ландшафту, зданиям и инфраструктуре. Интеграция технологии BIM в GIS может быть такой, как в [3], где представлена схема данных на основе форматов IFC и CityGML. В русскоязычном сегменте немногочисленные пока публикации по CIM предлагают [4] начать развивать эту технологию на платформе Autodesk InfraWorks. Другой подход можно увидеть на примере американской компании CityZenith, которая на Всемирном экономическом форуме в Давосе в 2018 г. представила интерактивную симуляцию в реальном времени индийского города Амаравати. Сотни систем **интернета вещей** и **больших данных** объединяются в единый портал, создавая цифровой двойник города.

Моделирование позволяет отслеживать ход строительства, условия окружающей среды, потребление энергии, общественную безопасность и др.

Литература

1. *Мустафин У.М.* На пути создания цифрового двойника города // Вестник университета правительства Москвы. 2019. № 4 (46). URL: https://mguu.ru/wp-content/uploads/2019/11/Vestnik_04_46_new_web.pdf
2. *Xinghua Gao, Pardis Pishdad-Bozorgi.* BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review // Advanced Engineering Informatics. 2019. № 39. P. 227–247.
3. *Xun Xu, Lieyun Ding, Hanbin Luo, Ling Ma.* From building information modeling to city information modeling // Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Special Issue BIM Cloud-Based Technology in the AEC Sector: Present Status and Future Trends. 2014. Vol. 19. P. 292–307. URL: <http://www.itcon.org/2014/17>
4. *Жуков А.В.* Информационная модель – основа «Умного города», или что дает Autodesk Infracore для Smart City URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19594

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СЕВЕРНОГО ГОРОДА НА ОСНОВЕ АПРИОРНОЙ МУЛЬТИ-АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Г.Б. Захарова^{1,2}, С.В. Кругликов^{2,3}

¹Уральский архитектурно-художественный университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
zgb555@gmail.com, s.v.kruglikov@urfu.ru

В марте 2019 г. утвержден ведомственный стандарт «Умного города» Минстроя РФ [1] в рамках национального проекта «Жильё и городская среда», являющегося частью национальной программы «Цифровая экономика РФ». Многие регионы активно включились в реализацию проекта, разрабатываются региональные стандарты умных городов, банк решений умного города [2] содержит порядка четырёх сотен готовых к внедрению проектов. Однако обращает внимание, что в данном документе не нашли своего отражения принципиальные особенности, характерные для северных городов и населенных пунктов.

Арктика имеет огромный потенциал неосвоенных территорий, является стратегической ресурсной базой и перспективной зоной экономико-промышленного развития для России. Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), выделенная с 2014 г. в самостоятельный объект государственного управления и социально-экономического развития, включает полностью или частично территории 9 из 85 субъектов РФ, 271 муниципальное образование с населением 2,3 млн чел. Тяжелые климатические условия: продолжительный снеговой покров, устойчивые морозы, полярный день и сумеречные ночи, вечная мерзлота, требуют принципиально иного определения приоритетности технологий по сравнению с принятым в документе [1] для обеспечения достойного качества жизни и социальных стандартов жителей поселений.

Имеет смысл отдельно отметить влияние фактора вечной мерзлоты. Площадь АЗРФ составляет всего 21,6% общей площади РФ, однако 62% территории РФ составляет зона многолетнемерзлых грунтов. Игнорирование основополагающих природных факторов при разработке и применении технологий, обеспечивающих жизненный цикл как отдельных зданий, сооружений инженерной инфраструктуры, так и городских и агломерационных комплексов, неизбежно оборачивается технологическими и социальными рисками, значимыми финансовыми потерями. Стремительное развитие комплекса информационных технологий может качественно изменить уровень жизни населения за счет интеллектуализации процессов северного города.

В данной работе на основе положений, зафиксированных в Стратегии социально-экономического развития муниципального образования г. Салехард [3], рассматривается концепция для централизованно управляемой реализации проекта «умный северный город». Обсуждаются перспективы согласования протокола единой информационной платформы, цифрового двойника города (digital twin) [4] с учетом ранее реализованных и перспективных систем следующих сфер жизнеобеспечения города: энергообеспечение; транспорт; безопасность, включая системы видеонаблюдения; сфера услуг: электронное правительство, образование, здравоохранение.

Особенностью интеллектуальных продуктов, реализующих IT-технологии «умного северного города», является принципиальная необходимость интеграции отраслевых (индустриальных) цифровых платформ с приоритетом обеспечения эффективного взаимодействия гибридных систем энергообеспечения города.

Проблема моделирования реальности в информационной модели города (CIM) [5] реализуется в форме четырехкомпонентной макроэкономической модели, обеспечивающей замкнутость деятельности по управлению городом в рамках процесса распределения потока ресурсов четырех типов (материальных, энергетических, информационных, финансовых). В рамках этой модели предложены процедуры оптимизации и модернизации

многокомпонентных энергетических систем с использованием априорной мульти-агентной модели взаимодействия гибридных систем на основе теории гарантированного управления и оценивания в условиях неопределенности.

Литература

1. Базовые и дополнительные требования к умным городам (стандарт «Умный город»). Утвержден зам. министра строительства и ЖКХ РФ. 04.03.2019. URL: <https://www.minstroyrf.ru/docs/18039/> (дата обращения: 1.02.2020).
2. Проект «Умный город» URL: <https://russiasmartcity.ru/projects> (дата обращения: 1.02.2020).
3. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Салехард до 2030 года. Решение Гор. Думы г. Салехарда от 21.12.2018 г. № 91 URL: <http://docs.cntd.ru/document/550285222> (дата обращения: 1.02.2020).
4. Локштейн Д.А., Захарова Г.Б. Цифровой двойник города: решения и технологии // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург: УрГАХУ, 2019. С. 30.
5. Талалов В.В. Информационная модель – основа «умного города». URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19940 (дата обращения 1.02.2020).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

И.Д. Шульга, Е.А. Юрченко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
shulga.irina20762@yandex.ru

По данным Международной ассоциации пожарно-спасательных служб уже несколько лет Россия сохраняет одно из лидирующих мест в мире по количеству жертв на каждые 100 тысяч пожаров. По данным той же службы наибольшая их доля приходится на пожары в зданиях. Самым эффективным методом анализа процессов эвакуации является моделирование. На сегодняшний день, при создании моделей эвакуации необходимо большое внимание уделять реалистичности моделирования поведения людей с учётом всех физических и психофизических данных.

На данный момент существует 4 основных подхода к моделированию поведения людей:

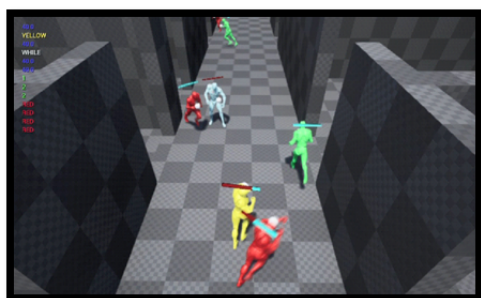
- Молекулярный подход [1, 2]. В данном случае люди представляются в виде кругов на плоскости. Динамика движения и взаимодействия людей описывается законами молекулярной физики. Такой подход к моделированию имеет ряд ограничений, в частности, нет возможности определения индивидуальных параметров людей, а психофизические факторы используются лишь для изменения скорости людей.

- Подход на основе маршрутов [3, 4]. Данный подход к моделированию направлен на построении и визуализации наиболее эффективных маршрутов эвакуации.

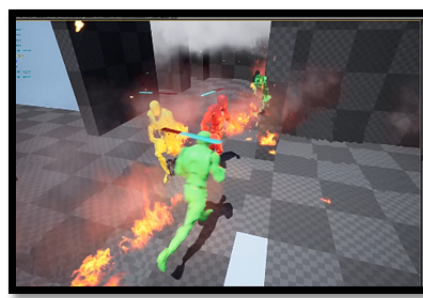
- Подход на основе групп [5, 6]. В данном подходе толпа людей разбивается на отдельные группы движение каждой из которых описывается отдельно. При групповом моделировании появляется возможность учета социального взаимодействия людей. Как правило, подобные модели являются двухмерными и, соответственно, ограничены в представлении реальности процесса эвакуации.

- Агентно-ориентированный подход [7, 8]. Данный подход позволяет создавать гибкую модель поведения людей, т.е. определять индивидуальные характеристики, правила взаимодействия и принятия решений.

При разработке нашей модели был выбран агентно-ориентированный подход, так как именно он позволит обеспечить наибольшую реалистичность моделирования и может быть реализован в 3D. Разрабатываемая нами система реализуется с использованием игрового движка Unreal Engine, который позволяет осуществлять трехмерное моделирование с возможностью определения индивидуальных параметров агентов, внутреннего программирования алгоритмов поведения и взаимодействия.



а



б

Рис. 1. Пример 3D визуализации процесса эвакуации

Разрабатываемая модель учитывает большой набор психофизических параметров агентов, модели поведения различных социальных групп и физические параметры горения и дымообразования материалов. На рис. 1 представлены примеры 3D визуализации процесса эвакуации при возникновении пожара.

В ходе разработки модели большое внимание уделяется процессу взаимодействия агентов по принципу «каждый с каждым». В том числе, планируется учет процессов социального взаимодействия агентов различных психофизических типов. Описание поведения людей выполняется с применением теории расширенных автоматов. Модель расширенного автомата позволяет достаточно просто увеличить количество параметров, от которых зависит моделируемое поведение, и тем самым перейти к более реалистичной модели поведения человека в чрезвычайной ситуации.

Литература

1. Dirk Helbing, Illés Farkas & Tamás Vicsek Simulating dynamical features of escape panic // Nature. 2000. Vol. 407. P. 487–490.
2. Yunyun Niu, Yongpeng Zhang, Jieqiong Zhang, Jianhua Xiao Running Cells with Decision-Making Mechanism: Intelligence Decision P System for Evacuation Simulation // International journal of computers communications & control. 2018. Vol. 13. P. 865–880.
3. Jialiang Kou, Shengwu Xiong, Zhixiang Fang, Xinlu Zong, and Zhong Chen Multiobjective Optimization of Evacuation Routes in Stadium Using Superposed Potential Field Network Based ACO // Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience. 2013. Vol. 2013.
4. Бекларян А.Л., Аюпов А.С. Моделирование поведения толпы на основе интеллектуальной динамики взаимодействующих агентов // Бизнес-информатика. 2015. № 1 (31). С. 69–77.
5. Ping Du, Yan Li, Hong Liu, Xiangwei Zheng Study of the indoor evacuation based on the grouping social force model // 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education. 2018. P. 1018–1026.
6. Anne Templeton, John Drury, and Andrew Philippides From Mindless Masses to Small Groups: Conceptualizing Collective Behavior in Crowd Modeling // General Psychology. 2015. Vol. 19. P. 215–229.
7. J. Shi, A. Ren and C. Chen Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions // Automation in Construction. 2009. Vol. 18. P. 338–347.
8. Wei Xin-quan, Wang Jian A mesoscopic evacuation model based on multi-agent and entropy with leading behavior under fire conditions // Systems Engineering – Theory & Practice. 2015. Vol. 35. P. 2473–2483.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОГНЯ И ДЫМА В UNREALENGINE

Е.А. Юрченко, И.Д. Шульга

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

Задача моделирования процесса эвакуации людей из зданий при возникновении чрезвычайных ситуаций, в частности, пожаров является весьма актуальной. Подробное и максимально реалистичное моделирование позволит проводить анализ несоблюдение технологии строительства, требований к материалам при постройке здания, а также нарушение пожарных норм при его перестройке [1, 2]. В случае моделирования процесса эвакуации при пожаре необходимо особое внимание уделять процессам возникновения и распространения огня и дыма.

Данная работа посвящена реализации процессов распространения огня и дыма в игровом движке UnrealEngine[3]. Данная программа выбрана в качестве основы для построения общей системы 3D моделирования процессов эвакуации при ЧС. Разработанный и реализованный алгоритм для моделирования огня включает в себя три стадии: стадия слабого огня (огонь не распространяется, усиливается и разрушает материал вблизи себя), стадия среднего огня (огонь начинает распространяться и выделять дым) и стадия сильного огня (увеличиваются пространство, занимаемое огнём, и плотность дыма).

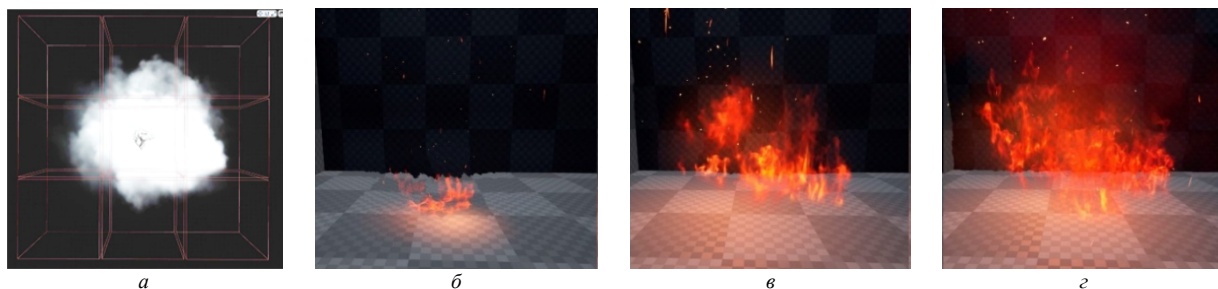


Рис. 1. Пример возникновения и распространения огня и дыма: а – визуализация процесса распространения; б – стадия слабого огня; в – стадия среднего огня; г – стадия сильного огня

Процессы распространения огня и дыма аналогичны и заключаются в следующем. При моделировании огонь и дым порождают сами себя. У ячеек с огнем и дымом есть по девять соседних ячеек, в которые они могут распространяться. Если ячейка пересекается со стеной, полом или другой ячейкой с огнем или дымом, то нельзя вновь создать в координатах этой ячейки огонь или дым [4].

На рис. 1 представлены примеры возникновения и распространения огня и дыма, реализованные в UnrealEngine.

Таким образом, используя игровой движок UnrealEngine можно производить моделирование процессов распространения огня и дыма, в частности, в рамках разработки системы моделирования процессов эвакуации при пожаре. Следует отметить, что существуют готовые решения для моделирования огня, которые также представляют интерес. Одной из таких программ является Fire Dinamic Simulator. В дальнейшем планируется совершенствование разработанных алгоритмов, в частности, учет зависимости от коэффициентов горения различных материалов внутренней отделки и токсичности продуктов горения.

Литература

1. Иванов Ю.И., Бесперстов Д.А., Мамонтов А.С., Стабровская Е.И. Прогнозирование опасных факторов пожара: определение расчетных величин пожарного риска общественных зданий и сооружений: учеб. пособие. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2013. 122 с.
2. Горбенко О.Н., Макарова А.А. Анализ современных методов, применяемых при моделировании пожаров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 4. С. 1–5.
3. Unreal Engine 4 Documentation: сайт. URL: <https://docs.unrealengine.com/en-US/index.html> (дата обращения: 2.04.2020).
4. Gupta A.K., Rajiv K., Yadav P.K., Naveen M. Fire safety through mathematical modeling // Current Science. 2001. № 1. Vol. 80. P. 18–26.

ТЕНЗОРНЫЙ ПОДХОД К ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ

Н.А. Шалыпина¹, А.К. Матолыгин¹, М.Л. Громов¹, С.Н. Торгаев^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
nat.shalyapina@gmail.com

Традиционный метод моделирования диффузии базируется на решении системы дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП). Решение такой системы в нестационарном случае является сложной задачей. Существующие численные методы решения систем ДУЧП на практике трудно применимы. Неявные схемы дискретизации пространства и времени приводят к алгоритмам, которые не допускают эффективной параллельной реализации, а использование явных схем требует больших затрат времени счета, чтобы обеспечить вычислительную устойчивость [1]. Поэтому для решения исходной задачи диффузии стали актуальными новые методы, свойства которых покрывают указанные недостатки, а именно обеспечивают параллельную реализацию и адекватность в отношении временных затрат. Одним из таких методов является построение клеточно-автоматной модели исследуемого процесса [1].

В данной работе предлагается тензорный подход к программной реализации клеточного автомата, моделирующего процесс диффузии. Суть подхода заключается в описании состояния клеточного автомата при помощи многомерной матрицы (тензора), а поведения при помощи операций над тензорами [2]. Такое решение позволяет применять современные фреймворки, например, TensorFlow [3], для эффективной параллельной реализации разработанной клеточно-автоматной модели диффузии. Основным преимуществом фреймворков является простота организации параллельных участков программ, что освобождает исследователя от необходимости изучения параллельного программирования.

Экспериментальная часть работы, а именно, параллельные вычисления проводились при помощи видеокарты GeForce GTX 650 Ti (ОЗУ 1024 МБ, базовая частота 928 МГц, 768 ядер CUDA). Оценка эффективности предложенного подхода на многопроцессорном вычислителе проводилась по результатам сравнительного анализа с данными, полученными в ходе экспериментов на однопроцессорном вычислителе. Исходя из этой оценки делаются выводы и предположения о возможности применимости данного подхода для моделирования более сложных реальных физических процессов, в том числе процессов, протекающих в плазме активных сред.

Литература

1. Бандман О.Л. Клеточно-автоматное моделирование диффузионно-реакционных процессов // Автотметрия. 2009. Т. 39, № 3. С. 5–18.

2. *Shalyapina N.A., Gromov M.L.* «Life» in Tensor: Implementing Cellular Automata on Graphics Adapters. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2019. Vol. 31(3). P. 217–228. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2019-31\(3\)-17](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2019-31(3)-17).
3. TensorFlow. URL: <https://www.tensorflow.org> (дата обращения: 12.05.2019).

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМА ПО СТАНДАРТАМ WORLDSKILLS НА ПРИМЕРЕ КОМПЕТЕНЦИИ «КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Ю.В. Маслова, К.И. Хомякова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
Yulya_maslova_86@inbox.ru

На сегодняшний день подготовка высококвалифицированных и востребованных специалистов остается одной из главных проблем в образовании. Несомненно, в последнее время, существенную роль в решении данной проблемы играет включение в образовательный процесс электронных образовательных ресурсов, которые являются инструментами реализации идей индивидуализации и открытости образования [1]. Более того, использование электронной информационной среды является требованием последних образовательных стандартов. Таким образом, в течение последнего десятилетия электронные образовательные ресурсы и технологии получили широкое распространение и заняли прочное место в образовательном процессе, сопровождая обучающегося на всех этапах от школы до окончания вуза и далее, при профессиональной переподготовке. Идея Long Life Learning (обучение в течение всей жизни) разрабатывалась педагогами давно, но с появлением ЭОР, получила новое развитие. Считается, что подготовка высококлассного специалиста не ограничивается получением профессионального образования. Она должна начинаться гораздо раньше, с развития интереса к определенной предметной области у ребенка и продолжаться после окончания вуза путем самообразования [2]. Частично, идея LLL воплощена в движении WorldSkills, миссией которого считается повышение стандартов подготовки кадров. В рамках движения проводятся чемпионаты профессионального мастерства для людей практически всех возрастов, включая школьников и людей предпенсионного возраста [3]. Участие в таких чемпионатах позволяет доказать свою конкурентоспособность на рынке труда, а работодателям найти высококвалифицированные кадры. Однако, к таким мероприятиям необходима серьезная подготовка, которая выходит за рамки учебных планов по той или иной специальности в вузе и, тем более, в школе. В условиях большой аудиторной нагрузки и отличия уровня базовой подготовки слушателей, организация такой подготовки в очном формате представляет определенные сложности.

Решением проблемы может являться разработанная коллективом преподавателей РФФ НИ ТГУ информационно-образовательная система на базе единой онлайн-платформы. Система предназначена для дополнительных и общеразвивающих занятий и включает в себя образовательные разделы для обучающихся разного возраста и уровня подготовки, а также позволяет выстраивать индивидуальную образовательную траекторию. Авторами разработана система специальных материалов и заданий для данной платформы на примере компетенции «Квантовые технологии».

Система условно включает несколько разделов: «Увлекательный мир фотона» для детей дошкольного возраста, «Квантовые миры» для школьников, «Квантовые коммуникации и квантовые вычисления» для обучающихся СПО и вызов и «Вторая квантовая революция» для специалистов, желающих пройти переподготовку или получить конкретные знания и компетенции в этой области. Форма подготовки и подачи материала отличается в зависимости от категории обучающихся. Для дошкольников разрабатываются специальные короткие мультипликационные видео и задания в игровой форме. Для школьников используются научно-популярные фильмы, лекции в формате SinceSlam и задания в виде кейсов. Студенты, в зависимости от уровня подготовки (базового образования) могут начать со школьного раздела или перейти сразу к лекциям и мастер-классам по заданиям Чемпионата. В разделе для подготовки «мастеров» будут использоваться гибкий набор обучающих мастер-классов и заданий для приобретения определенных навыков. Также в систему планируется включить раздел с онлайн-лекциями ведущих российских и зарубежных ученых в области квантовых технологий.

По мнению авторов, использование такой платформы в процессе дополнительного образования позволит привлекать абитуриентов в физико-математические и технические направления за счет ранней профориентации и развития интереса к науке, а также вести дополнительную подготовку высококвалифицированных кадров по стандартам WorldSkills для инновационных отраслей цифровой экономики.

Литература

1. *Бордовский Г.А., Готская И.Б., Ильина С.П., Снегурова В.И.* Использование электронных образовательных ресурсов нового поколения в учебном процессе: научно-методические материалы. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2007. 31 с.

2. Бородин Т.Ф. Применение электронных образовательных ресурсов в образовательном процессе и их эффективности // Молодой ученый. 2014. № 13 (72). С. 241–243.
3. WorldSkills Russia (Молодые профессионалы). URL: <https://worldskills.ru/o-nas/dvizhenie-worldskills/> (дата обращения: 30.05.2020)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ АКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ*

Д.А. Ляшенко¹, Т.С. Бондарева¹, С.Н. Торгаев^{1,2}, М.Л. Громов¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
uran-1@mail.ru

Активные оптические системы (АОС) широко применяются в задачах визуально-оптического контроля процессов [1], которые имеют сильную фоновую засветку, что делает сложным проведение их диагностики [2]. На сегодняшний день не существует методов обработки изображений, получаемых АОС, позволяющих осуществлять коррекцию данных изображений в режиме реального времени и анализировать физические параметры исследуемых процессов.

В большинстве случаев полученная с помощью оптических приборов визуализация нуждается в дополнительной цифровой обработке для математического описания, спектрального анализа или улучшения качества. Иногда из-за искажений, произошедших под влиянием внешних или внутренних шумов, становится необходимым получение исходного сигнала.

Данная работа посвящена построению математической модели преобразования изображений лазерным монитором. Это прибор оснащенный лазером на основе активной среды на парах металлов, позволяет наблюдать объекты и процессы, экранированные мощной широкополосной фоновой засветкой с высоким временным разрешением. Для восстановления изображений, полученных лазерным монитором, была построена общая математическая модель преобразования изображения данным прибором. Для этого были использованы методы цифровой обработки изображений с помощью дискретного преобразования Фурье. Далее были сделаны и обработаны снимки тестовых объектов с заранее известными визуализациями.

Сначала, в ходе выполнения работы, были построены изображения равномерно шершавой белой поверхности (листа бумаги) и открытого пространства (в поле зрения не было помещено никаких объектов). Это позволило оценить собственные шумы и яркостный профиль прибора, и как следствие построить простую линейную модель преобразования входного сигнала. Далее проводились эксперименты по восстановлению различных изображений с применением построенной модели.

Экспериментальные результаты позволяют заключить, что разработанный подход можно применять для восстановления изображений, получаемых с помощью лазерного монитора. Однако модель нуждается в дальнейших улучшениях, поскольку изображения, даваемые лазерным монитором, обладают не только пространственной, но и временной неоднородностью. Которую тоже нужно учитывать.

Литература

1. Chertikhina D.S., Trigub M.V., Evtushenko T.G. Sharpness assessment of images obtained with a laser monitor // 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices: Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2015. P. 340–342.
2. Dashinimaeva E.Z., Trigub M.V. Processing of the Images Obtained by Laser Monitor Using the Algorithm Based on Correlation Approach. Test Experiments // 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices: Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2014. P. 257–261.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ № 19-79-10096.

Секция 2. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

ABOUT PROOF-SEARCH IN INTUITIONISTIC NATURAL DEDUCTION CALCULUS USING PARTIAL SKOLEMIZATION

O.A. Okhotnikov

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
oleg.okhotnikov@gmail.com

Automated theorem proving is an important area of modern research (see e.g. [1]). Considerable attention is paid to methods of searching for natural classical logical inference based on the use of meta-variables (see e.g. [2]). The use of partial Skolemization has shown high efficiency for such methods (see [3, 4]). In this paper, we extend the approach based on the partial Skolemization to intuitionistic and minimal logics.

The method under consideration is described in the framework of some production system with meta-variables. The deductive problems of this production system are formulated using partial Skolemization. The Skolemization is used for the premises of deductive problems. This Skolem normal form allows us not to lose touch with the desired intuitionistic logical inference. The same approach we consider for minimal logic.

Within the framework of the production system, the process of searching for a solution to a problem is associated with the formation of an AND/OR search tree. In essence, a production system is a formulation of a certain algorithm up to a strategy for constructing a search tree. Having fixed a specific strategy for constructing a search tree, we get some implementation of the algorithm formulated in this way. For example, algorithm [4] uses the strategy of depth first search. Theorems of soundness and completeness for the production system are proved.

Literature

1. *Robinson A., Voronkov A., eds.* Handbook of Automated Reasoning (in 2 volumes). Elsevier and MIT Press, 2001. 2122 p.
2. *Konev B.Yu., Jebelean T.* Solution lifting method for handling Meta-variables in the THEOREMA system // Journal of Mathematical Sciences (New York). 2005. № 126:3. P. 1182–1194.
3. *Okhotnikov O.A.* About proof-search in classical natural deduction calculus using partial Skolemization (in Russian) // Intelligent Systems. 2019. № 23:4. P. 39–90.
4. *Vtorushin Yu.I.* About proof-search in natural deduction calculus of predicate logic (in Russian) // Intelligent Systems. 2009. № 13. P. 264–288.

STRICTLY COLLABORATIVE MULTI-ROBOT EXPLORATION

A.A. Gorbenko, A.I. Ovchinnikov, V.Yu. Popov

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
popovvv@gmail.com

Problems of multi-robot exploration have attracted considerable research attention. Among the most recent results, we can mention an integrated method of multi-robot exploration that based on the model of clustering based distribution factor for deterministic guidance of motion and the particle swarm optimization, the bacteria foraging optimization, and the bat algorithm for random guidance of exploration, a coordinated algorithm for multi-robot exploration that based on supervisory control theory of discrete event systems, an approach to decentralized simultaneous multi-target exploration using a connected network of UAVs, an online Boustrophedon motion approach to complete coverage path planning. Despite the diversity of approaches and models, in most cases, it is assumed that regions that should be explored are freely accessible. However, many practical tasks require the exploration of initially blocked areas. Some of such tasks can be solved by combining forces of robots to improve physical traversability of regions. Moreover, there are strictly collaborative tasks, i.e. tasks that require joint efforts of more than one robot and can not be performed by a single robot. In particular, strictly collaborative multi-robot exploration may require a solution of the well-known problem of cooperative multi-robot box-pushing. Recently, the local collaborations approach has been proposed for solution of strictly collaborative multi-robot exploration tasks [1]. In particular, four strategies for the solution of such tasks have been proposed.

The problem of strictly collaborative multi-robot exploration has been proposed in the paper [1]. Following [1], we assume that regions of interest are rooms of some indoor environment. Rooms are connected by doorways. Respectively, for the set of regions of interest V and the set of doorways E , the workspace decomposition of the environment can be represented by some adjacency graph $G = (V, E)$ with the set of nodes V and the set of edges E . It is assumed that the set of all robots R starts the exploration in the same room at the fringe of the environment. Any visited

node of the graph G is said to be explored. Correspondingly, if any node of the graph G have been explored, then the graph G is said to be completely explored [1]. For any edge e from E , the function C defines the number of robots that are necessary for the local collaboration in the edge e . An edge is called obstructed edge if it requires the local collaboration of at least two robots (see [1]). The set L is the set of all obstructed edges of the graph G . Initially, it is assumed that the set of all obstructed edges is equal to the set of all blocked edges (see [1]). Once the local collaboration of $C(e)$ robots is performed on the obstructed edge e , the edge e becomes passable (see [1]). Following [1], we can define the notion of the strategy of collaborations that defines when robots should collaborate and whom of the robots should be involved in the collaborations. However, the strategy of collaborations does not give us an explicit plan of the exploration. It can only be used as a guidance to find a solution. To obtain an explicit plan of the exploration, we should solve the following problem.

The problem of planning local collaborations (PLC):

Instance: Given an environment G with a set of all obstructed edges L and a function C , a team of robots R .

Task: For any robot from R , find a sequence of actions, where any action is either explore, collaborate, travel, or wait, such that the set of all these sequences allows us to realize a strategy of collaborations with the least possible time.

For known graphs, the following theorem allows us to obtain a polynomial reduction of the problem to the problem of exploring environments that do not require local collaborations.

Theorem. For closed paths, the problem **PLC** for a known graph G with a singleton set L and with the smallest possible set R which is determined by the function C is polynomial-time reducible to problem **PLC** for the graph G with empty set L and the same set of robots.

For unknown graphs, we have considered the well-known divide and conquer strategy. The divide and conquer strategy partly uses random selection. We consider a pseudo-random divide and conquer strategy based on the use of a pseudo-random number generator. We also consider a human-like divide and conquer strategy that is based on the use of sequences of random numbers that are generated by human subjects. In this paper, we have compared and analyzed the results of experimental studies of both strategies. We also have provided a comparison of our results with previously considered strategies [1]. In our experimental studies, we have used a generator of fully random environments and the HouseExpo dataset [2]. The HouseExpo is built on the SUNCG dataset [3]. It is the largest dataset of human-like environments.

Literature

1. Andre T., Bettstetter C. Collaboration in multi-robot exploration: to meet or not to meet? // Journal of intelligent & robotic systems. 2016. Vol. 82, № 2. P. 325–337.
2. Li T., Ho D., Li C., Zhu D., Wang C., Meng M. HouseExpo: a large-scale 2D indoor layout dataset for learning-based algorithms on mobile robots // arXiv:1903.09845. 2019. P. 1–8.
3. Song S., Yu F., Zeng A., Chang A.X., Savva M., Funkhouser T. Semantic scene completion from a single depth image // IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu: IEEE, 2017. P. 1746–1754.

ВЕРИФИКАЦИЯ ЛЕКСИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ МЕТОДОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ СЛОВ, РАССЧИТАННЫХ ПО БОЛЬШИМ КОРПУСАМ ТЕКСТОВ*

В.Р. Байрашева¹, Н.В. Лукашевич²

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Московский государственный университет, Москва, Россия
vbayrasheva@gmail.com, louk_nat@mail.ru

В последнее время в целом ряде задач автоматической обработки текстов все чаще используются онтологии и тезаурусы. Для английского языка хорошо известна созданная более 30 лет назад лексическая онтология WordNet. Для русского языка предпринималось несколько попыток создания аналогичного лексического ресурса. К настоящему времени завершенной и эксплуатируемой является только одна версия – тезаурус RuWordNet [1]. Высококачественные языковые ресурсы подобного рода создаются только вручную, и эта работа крайне трудозатратна. Поэтому хотелось бы иметь хотя бы полуавтоматические средства их развития и верификации.

В данном исследовании используется подход, предложенный в [2]. Его суть состоит в том, чтобы взять большой представительный корпус и для слов, входящих в RuWordNet (назовем их целевыми), с помощью современных методов векторного представления семантики, таких как word2vec, найти слова, имеющие близкую к ним дистрибуцию в корпусе. Согласно известной дистрибутивной гипотезе [3], такие слова должны быть и семантически близкими. Анализируется, присутствуют ли эти слова уже в RuWordNet, и насколько они близки к целевым. Для этих целей использован корпус, содержащий 8 миллионов новостных сообщений.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 18-00-01238, 18-00-01236.

Векторные представления были посчитаны для 40 тысяч текстовых входов (слов и словосочетаний) из RuWordNet, которые встречались в собранном корпусе не менее 100 раз. Отобрано 200 слов, для которых 20 ближайших к ним по корпусу слов располагаются в RuWordNet на расстоянии более 4 шагов по семантическим отношениям.

Мы продолжаем исследование, начатое в работе [2], но в отличие от проведенного в ней массового анализа данных, в данной работе проводится тщательный лингвистический анализ небольшого числа примеров, на основе которого выявляются пробелы в RuWordNet (пропуск слов, концептов, семантических отношений), анализируются причины появления пробелов, а также даются общие рекомендации по обнаружению ошибок и выявлению слабых мест в RuWordNet, потенциально возможных источников ошибок. Данный подход применим и к другим лексическим онтологиям и тезаурусам.

Литература

1. RuWordNet. 2020. URL: <https://ruwordnet.ru/ru/>, свободный.
2. Loukachevitch N. Corpus-based Check-up for Thesaurus // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence: Association for Computational Linguistics, 2019. P. 5773–5779.
3. Sahlgren M. The Distributional Hypothesis. From context to meaning (англ.) // Rivista di Linguistica. 2008. Vol. 20, № 1. P. 33–53.

DISTRIBUTED DPIV VECTOR ANALYSIS IN AD HOC NETWORKS

V. Kulyukin¹, S. Mukherjee¹, Yu. Burkatovskaya²

¹Department of Computer Science Utah State University, USA

²Institute of Applied Mathematics and Computer Science, Tomsk State University, Russia
vladimir.kulyukin@usu.edu

A fundamental limitation of digital particle image velocimetry (DPIV) is its dynamic velocity range (DVR), which is the ratio of the maximum measurable velocity to the minimum measurable velocity. The maximum measurable velocity is the maximum possible particle displacement within each interrogation area on two paired images. The minimum measurable velocity is the smallest measurable particle displacement between pixels in two paired images from a video. To overcome the DVR limitation, standard DPIV research has required significant hardware investments, which confined DPIV applications mostly to academic or industrial research environments. A possible solution is cloud computing where DPIV analysis of video frames is executed in the cloud by a collection of GPUs. This solution, however, critically depends on continuous broadband internet access, which is not available in some areas.

We propose a method to distribute DPIV-based motion vector analysis of videos over ad hoc networks of raspberry pi computers. In this network, one node acts as a dispatcher in that it captures video and dispatches video frames to the processor nodes. Each processor node uses multi-threading to analyze an allocated subset of consecutive frames and returns the results back to the dispatcher. We implemented this method in a six-node ad hoc network to do DPIV-based motion vector analysis of directional honeybee traffic videos to compute honeybee motion vectors and classify them as incoming, outgoing, and lateral. The network reduces the average processing time of 30-second videos from ≈ 2.5 hours on a single raspberry pi to ≈ 19.5 minutes. Obviously, the inclusion of additional nodes into the network is expected to decrease the average video processing time. Specifically, our estimates indicate that a network of ≈ 20 nodes is likely to bring the average 30-second video processing time to under one minute. Our results bode well for citizen science in that such ad hoc networks can be replicated without significant hardware and maintenance costs.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

С.К. Хромов¹, М.А. Кулагин¹, В.Г. Сидоренко^{1,2}

¹Российский университет транспорта, Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
sk.khromov@gmail.com

Значительное увеличение количества действующих автоматизированных систем управления требует повышения производительности труда ИТ-персонала, что влечет за собой внедрение новых технологий в процесс технического обслуживания. Одной из таких технологий является машинное обучение (Machine Learning, ML). В статье представлены результаты анализа определения возможности его использования для

решения задач классификации инцидентов (по определению ITIL) [1] пользователей на примере ERP-систем ОАО «РЖД» и выбора рационального метода решения этой задачи. Представленная задача является частным случаем задачи обработки естественного языка (Natural Language Processing (NLP) [2,3]) с использованием нейронных сетей. В статье рассматриваются результаты бинарной [4] и многоклассовой классификации пользовательских запросов на основе их семантического анализа.

В 2018 году от пользователей ERP-систем ОАО «РЖД» поступило $\approx 1,4$ млн. инцидентов. 25% из них подходит для применения ML, так как не требует участия специалиста службы поддержки для решения. Достаточно направить ответ или документацию пользователю. В работе решалось 4 отдельные задачи классификации. Для каждой задачи была обучена отдельная нейронная сеть. Использовались глубокие нейронные сети, в частности, сверточные и рекуррентные. Их выбор обоснован успехом данных алгоритмов для решения задач классификации текстов [5–7]. Качество работы алгоритмов измерялось с помощью метрики Accuracy [7] (точность).

При установленном уровне доверия в 75% существующие модели смогли достоверно определить 80% искомых обращений на выборке из 36 тысяч обращений. В итоге, внедрение разработанного программного обеспечения позволит сократить время ожидания решения рассматриваемых инцидентов по администрированию пользователей ERP-систем ОАО «РЖД» в среднем на 10,1 часов или 64% и повысить производительность сотрудников службы поддержки на 5–7% при классификации обращений пользователей по бизнес-процессам и направлении им на основе этого инструктивных материалов.

В результате выполнения представленной работы было выявлено, что применение ML, в частности сверточных нейронных сетей, для классификации обращений пользователей имеет высокие перспективы в ОАО «РЖД». Предметом дальнейших исследований является повышение точности существующей модели и расширение полигона их внедрения.

Литература

1. ITIL® V3 Foundation Exam – The Study Guide / Arjen de Jong, Axel Kolthof, Mike Pieper, Ruby Tjassing, Annelies van der Veen, Tienieke Verheijen // Van Haren Publishing, Zaltbommel. 2009. 234 с.
2. Sotiris K., Zaharakis I., Pintelas P. Supervised machine learning: A review of classification techniques // Emerging artificial intelligence applications in computer engineering. 2007. № 160. P. 3–24.
3. Manning Ch.D., Schütze H. Foundations of statistical natural language processing. MIT press, 1999.
4. Powers D.M. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. 2011.
5. Liu Pengfei, Xipeng Qiu, Xuanjing Huang. Recurrent neural network for text classification with multi-task learning // arXiv preprint arXiv:1605.05101 (2016).
6. Lee Ji Young, Franck Dernoncourt. Sequential short-text classification with recurrent and convolutional neural networks // arXiv preprint arXiv:1603.03827 (2016).
7. Artetxe M., Labaka G., Agirre E. An effective approach to unsupervised machine translation // arXiv preprint arXiv:1902.01313, 2019.

МЕТОД ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ АРХИТЕКТУРЫ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ МИЛИ

А.Ю. Комаров

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
komarov.a.y@yandex.ru

По мере усложнения задач, которые практика ставит перед специалистами, разрабатывающими кибернетические системы, называемые также агентами (см., напр. [1]), усложняется также, с одной стороны, работа инженеров-конструкторов, а с другой – работа программистов, создающих всё более и более сложные программные комплексы для управляющих систем (далее – УС), формирующих усложняющееся поведение кибернетических агентов. Для преодоления указанных сложностей используются те или иные методы машинного обучения [2]. Мы предлагаем метод, имплементирующий идеологию обучения с подкреплением [3] для архитектуры конечных автоматов Мили с вероятностной функцией выходов [4, 5]. Основой метода является оригинальный алгоритм преобразования выбираемого специальным образом фрагмента SARSA-последовательности в оператор, преобразующий стохастическую матрицу выходов вероятностного автомата УС агента. Для проверки действенности и оптимизации параметров разработанного метода предложены и изучены две платформы: компьютерная мультиагентная модель типа «искусственная жизнь» и мобильный робот, спроектированный с опорой на идеологию эволюционной робототехники [6, 7] для решения задачи обучения четвероногому хождению, характерному для ранних этапов эволюции земноводных.

Мультиагентная система типа искусственная жизнь позволила изучить адаптивные свойства агентов. В ходе большого количества экспериментов агенты продемонстрировали способность к быстрому обучению и уверенной адаптации к среде с неизвестными агентам свойствами. Подробно изучена эволюционная динамика

модельной мультиагентной системы, основанной на концепции УС агента как тривиального автомата Мили с вероятностным выходом, реализующего механизм эволюции специального вида. В результате исследований найдены такие параметры предложенного метода, при которых агент указанного типа решает задачу адаптации к среде наилучшим образом.

Для проверки действенности разработанного метода обучения в случае физического агента построена мобильная робототехническая платформа. Конструкция биоморфного робота в целом следует анатомии первых земноводных, переходящих от движения в водной среде к четвероногому хождению по поверхности суши. Перед физическим агентом, обладающим двумя степенями свободы, ставилась задача формирования поведения, обеспечивающего локомоцию по направлению к препятствию типа стена. В качестве подкрепляющего сигнала взято уменьшение расстояния до препятствия. Эксперименты с агентом позволили, во-первых, уточнить параметры, отвечающие за выбор фрагмента SARSA-последовательности, а во-вторых, подтвердили оптимальность найденных ранее общих параметров предложенного метода. После оптимизации всех параметров обучения агент уже в третьем-четвертом цикле достигает максимально эффективной локомоции. Эксперименты показывают, что для описанной конструкции робота существует не менее девяти различных способов передвижения (аллюров), и что выбор агентом того или иного аллюра в целом носит случайный характер, однако на вероятность выбора влияет параметр, отвечающий за селекцию фрагментов SARSA-последовательности. При этом имеется два наиболее часто выбираемых агентом аллюра, и эти аллюры имеют достаточно высокие характеристики энергоэффективности.

Предложенный метод обучения для архитектуры вероятностных автоматов Мили, относящийся к классу методов обучения с подкреплением, демонстрирует применимость в различных типах задач обучения и показывает высокую эффективность в применении как к мультиагентным системам, так и к одиночным обучающимся агентам, действующим как в виртуальной, так и в реальной физической среде. Сочетаемость предложенного метода обучения с идеями эволюционной кибернетики и робототехники может служить основой для разработки эволюционирующих кибернетических систем, постепенное естественное усложнение конструкции которых позволило бы избежать рисков, связанных с чрезмерным ростом затрат и ошибок, возникающих при традиционных подходах к разработке сложных робототехнических комплексов.

Литература

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс, 2007. 1408 с.
2. Николенко С. И., Тулупьев А. Л. Самообучающиеся системы. М.: МЦНМО, 2009. 287 с.
3. Саттон Р., Барто Э. Обучение с подкреплением. Бинум. Лаборатория знаний, 2012. 400 с.
4. Варшавский В.И., Воронцова И.П., Цетлин М.Л. Обучение стохастических автоматов // Биологические аспекты кибернетики. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 192–197.
5. Бухараев Р.Г. Основы теории вероятностных автоматов. М.: Наука, 1985.
6. Sofge D.A., Potter M.A., Bugajska M.D., Schultz A.C. Challenges and Opportunities of Evolutionary Robotics // International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems. 2003.
7. Doncieux S., Bred'eche N., Mouret J.-B. (Eds.) New Horizons in Evolutionary Robotics. Springer, 2009.

GENERATION OF A DICTIONARY OF ABSTRACT/CONCRETE WORDS BY A MULTILAYER NEURAL NETWORK*

V.D. Solovyev, V.V. Bochkarev, S.V. Khristoforov

Kazan Federal University, Kazan, Russia
maki.solovyev@mail.ru

It is important to distinguish between abstract and concrete words in various studies in linguistics, psychology, neurophysiology, and clinical medicine. Large dictionaries (up to 40 thousand words) which describe the degree of word abstractness/concreteness have been created for the English language by interviewing native speakers [1]. The objective of this project is to create similar dictionaries for the Russian language. Estimates of the degree of abstractness/concreteness were obtained for 1000 words using the native speakers' response. Not less than 40 estimates were obtained for each word and averaged. However, this method is time-consuming and is not suitable for dealing with the large amount of linguistic data. Automatic extraction of the estimates from the text corpora is also possible using the methods of computational linguistics (see, for example, [2]). However, the existing methods presented in several works are not very accurate. It was shown in [1] that the Spearman correlation coefficient of the automatically extracted and expert estimates does not exceed 0.7 for the English dictionaries.

This paper considers an algorithm for automatically extracting estimates of the degree of abstractness/concreteness from a large text corpus using a neural network model. Data on the word distribution are used

* This research was supported of the Russian Fund of Fundamental Research, grant 19-07-00807.

as input data to obtain the estimate of the abstractness index. A word is represented by a vector of frequencies of its use in word combinations (bigrams) with 20 thousand Russian words. Taking into account that the word can either take the first or the second place in the word combination, the dimension of the vector representation is 40 thousand. Data on frequencies of the bigrams are extracted from the Russian sub-corpus of Google Books Ngram [3]. The words whose abstractness/concreteness index was estimated by the experts, as well as their inflectional forms (a total of 10.300 different word forms) are used as the training and test samples. The lists of inflectional forms were obtained using the OpenCorpora electronic thesaurus [4].

The model is a classic feedforward neural network. The dimensions of each of the 4 layers were 64, 128, 128, and 1, respectively. The ELU activation function was used for the hidden layers and the activation of the output layer is linear. During the training process, the neural network minimized the L1 norm of the difference between the estimation vector and the target vector.

The model was trained using the back-propagation method. The total number of parameters in the model was approximately 2.5 million. Their fitting was performed using the stochastic gradient optimization algorithm Adam. It fits the parameter of the training speed using the previous values of the gradient norm for each weight, which allows one to train deep models for a small number of iterations. In addition, the norm of the obtained gradient can be artificially limited in the training process so that, when it hits on the “steep” sections of the objective function, the weight increments remain within the acceptable limits.

Since the dimension of the input frequency vector is high, the number of weights of the 1st hidden layer is very large, which can lead to retraining of the model even at the beginning of optimization. To prevent this effect, a dropout layer [5] with a parameter of 0.5 is used after the input layer. Thus, only 20.000 (on average) components of the input vector are used in the training at a time. Thus, an analogue of stochastic regularization is created in the training process.

The Spearman’s correlation coefficient between the neural network estimates and the expert estimates was 0.778 on the test sample (20% of the initial sample which was not used in training the network). This significantly exceeds the best results achieved previously. The proposed approach is not time-consuming and allows one to create large high-quality dictionaries of abstractness/concreteness based on the large text corpora and perform various diachronic studies.

Literature

1. *Sneffjella B., Génèreux M., Kuperman V.* Historical evolution of concrete and abstract language revisited // *Behav. Res.* 2019. Vol. 51. P. 1693–1705.
2. *Solovyev V., Ivanov V., Akhtyamov R.* Dictionary of Abstract and Concrete Words of the Russian Language: A Methodology for Creation and Application // *Journal of Research in Applied Linguistics.* 2019. Vol. 10. P. 215-227.
3. *Lin Y., Michel J.-B., Aiden E.L., Orwant J., Brockman W., Petrov S.* Syntactic Annotations for the Google Books Ngram Corpus // 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics 2012, Proceedings of the Conference. Vol. 2 / ed. by M. Zhang – Jeju Island: Association for Computational Linguistics. 2012. P. 169–174.
4. *Bocharov V.V., Alexeeva S.V., Granovsky D.V., Protopenova E.V., Stepanova M.E., Surikov A.V.* Growsourcing morphological annotation // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies. Papers from the Annual International Conference "Dialogue".* 2013. № 12 (19). P. 109–115.
5. *Srivastava N., Hinton G.E., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R.* Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting // *Journal of Machine Learning Research.* 2014. Vol. 15, № 1. P. 1929–1958.

HUMAN-LIKE HEURISTIC STRATEGIES FOR ROBOT EXPLORATION TASKS

A.I. Ovchinnikov, V.Yu. Popov

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
a.i.ovchinnikov@urfu.ru

The search for human-like solutions for various robotic tasks is one of the most important problems of robotics (see e.g. [1, 2]). Finding human-like strategies allows us to obtain socially acceptable solutions. For many tasks, the use of human-like strategies provides the interchangeability and interoperability of human, teleoperated, fully autonomous, and combined solutions. Such solutions can provide significant advantages for a number of important robotic tasks. In particular, we can mention search, rescue, exploration, military, and social tasks. Despite the obvious significance of human like solutions, there is currently only a very limited number of examples of such solutions.

In this paper, we consider the exploration task that involves the search for an unknown object in a previously unseen environment. Since there is no additional information about the object and the environment, the robot should use a random search algorithm. We consider a pseudo-random search algorithm based on the use of a pseudo-random number generator. We also consider a human-like search algorithm that is based on the use of sequences of random numbers that are generated by human subjects. It is well known that sequences of random numbers that are generated by human subjects exhibit significant bias [3]. Therefore, theoretically, we can assume that pseudo-random and human-like algorithms will demonstrate different results. We have conducted experiments for random and human environments. In particular, we have used a generator of fully random environments and the HouseExpo dataset [4].

Although the HouseExpo is a synthetic dataset, it is built on the SUNCG dataset [5]. The SUNCG dataset has been created manually using the Planner5D platform. The quality of the data for the SUNCG dataset has been evaluated with a Mechanical Turk cleaning task. The HouseExpo dataset consists of 35 357 environments with a total of 252 550 rooms. Currently, the HouseExpo dataset is the largest dataset of human-like environments. Also, we have used the KTH dataset that consists of real human environments [6]. Although the KTH dataset contains a relatively large number of environments, insufficient diversity is a significant drawback of the dataset. We also consider a task of a full exploration of an unknown environment by a group of robots. We consider three natural strategies for exploring environments that take into account the possibility of interfering robots, Reserve, Divide and Conquer, Buddy System. Strategies have already been discussed in the paper [7]. The strategies partly use random selection. In previous studies, only pseudo-random selection has been considered [7]. We compare pseudo-random and human-like random selection for the strategies. We also consider the strategies for a large number of diverse human-like environments from the HouseExpo dataset. It should be noted that the task of exploring the unknown environment attracts considerable attention of researchers. However, the problem of interfering robots is rarely taken into account.

We have compared the results of experimental studies for different datasets and algorithms. In particular, the pseudo-random and human-like search algorithms have shown similar performance for fully random environments. For other environments, the human-like search algorithm has shown significantly better performance. It should be noted that the human-like search algorithm has shown similar performance for the HouseExpo dataset and the KTH dataset. However, the pseudo-random search algorithm has shown significantly better performance for the HouseExpo dataset than for the KTH dataset.

Literature

1. Rosell J., Suarez R. Using hand synergies as an optimality criterion for planning human-like motions for mechanical hands // IEEE-RAS international conference on humanoid robots. Madrid: IEEE, 2014. P. 232–237.
2. Turnwald A., Althoff D., Wollherr D., Buss M. Understanding human avoidance behavior: interaction-aware decision making based on game theory // International journal of social robotics. 2016. Vol. 8, № 2. P. 331–351.
3. Figurska M., Stanczyk M., Kulesza K. Humans cannot consciously generate random numbers sequences: polemic study // Medical hypotheses. 2008. V.70, № 1. P. 182–185.
4. Li T., Ho D., Li C., Zhu D., Wang C., Meng M. HouseExpo: a large-scale 2D indoor layout dataset for learning-based algorithms on mobile robots // arXiv:1903.09845. 2019. P. 1–8.
5. Song S., Yu F., Zeng A., Chang A.X., Savva M., Funkhouser T. Semantic scene completion from a single depth image // IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu: IEEE, 2017. P. 1746–1754.
6. Aydemir A., Jensfelt P., Folkesson J. What can we learn from 38,000 rooms? reasoning about unexplored space in indoor environments // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Vilamoura: IEEE, 2012. P. 4675–4682.
7. Nieto-Granda C., Rogers III J.G., Christensen H.I. Coordination strategies for multi-robot exploration and mapping // The international journal of robotics research. 2014. V. 33, № 4. P. 519–533.

AUTOMATED VEHICLE CONTROL SYSTEM BASED ON A SINGLE-BOARD COMPUTER

C. Gu, M.L. Gromov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
 chongyugu@gmail.com, maxim.leo.gromov@gmail.com

Advances in science and technology have allowed the creation and development of technologies such as the mobile Internet, the Internet of things, Big Data and cloud computing. Current trends suggest the next obvious step: providing intelligence for all equipment on the planet. The core of intelligence is the implementation of artificial intelligence.

In this paper, we created an automated control system for a model racing car. The objective of this work lies in people's preference to automate routine and monotonous work. Without a doubt, such routine processes can be attributed to driving a car that only moves from one place to another (for example, Home to Work Travel), and not entertainment (for example, racing). Systems with the properties of an autopilot have been developed by engineers for a long time. Including cruise control, tracking system and blind-spot monitoring system, etc. With the development of the theory of artificial intelligence, it became possible to completely replace a person in the driver's seat with an Artificial-Driver. The development of autopilots is carried out by many large and well-known companies (Google, Yandex, Uber, etc.) [1]. Such developments are always based on very powerful computing systems (NVIDIA, etc.) [2], and the question of the minimum sufficient computing power is usually ignored, both by theoreticians and practitioners. This question is the subject of this work. Its relevance lies in the economic plane: if the computing power is lower, then the operating cost of the system is lower, the replacement cost is lower, power consumption is lower, etc. As a result, the total price of such a system is low.

In this paper, we run an ANN-based control program on the Raspberry Pi 3B [3]. The network is based on a modified NVIDIA end-to-end model architecture and uses the Keras library based on the TensorFlow framework [4, 5].

The modification consists in separating the control commands (forward, left, right) from the signals to the servo motor and to the engine. The control commands are formed by the neural network based on the images received from the camera. The signals to the servo motor and to the engine are formed by a simple program, according to the classification results received from the neural network. The second modification is to reduce the number of fully connected layers and add a Dropout layer.

To train the network, 25,000 images were used. The training process was performed on a stationary computer equipped with an Intel i5-4570 processor, 20GB RAM, and a GeForce GTX 750 Ti graphics card. The training lasted 40 minutes. After training, the network was uploaded to the Raspberry Pi 3B, and the car automatically moved along the track at a speed of 1m / s. The accuracy of choosing the direction of movement, in this case, can be obtained at least 92%.

Literature

1. Self-driving car. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Self-driving_car, accessed 30.05.2019.
2. A Full Hardware Guide to Deep Learning. Available at: <https://timdettmers.com/2018/12/16/deep-learning-hardware-guide>, accessed 15.12.2019.
3. Raspberry Pi 3 Model B. Available at: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>, accessed 29.05.2019.
4. End-to-End Deep Learning for Self-Driving Cars. Available at: <https://devblogs.nvidia.com/deep-learning-self-driving-cars/>, accessed 20.03.2017.
5. Keras: The Python Deep Learning library. Available at: <https://keras.io/>, accessed 15.01.2019.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.Д. Брагина^{1,2}, М.Л. Громов²

¹ АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», Железногорск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
alina_bragina_tomsk@mail.ru

Трассировка печатных плат – одна из ключевых ступеней в производстве и изготовлении приборов и аппаратуры. Для того чтобы снизить трудозатраты, а также сократить время на проектирование печатных плат необходимо автоматизировать процесс трассировки.

Современные САПР, такие как Altium Designer, TopoR, SPECCTRA и PCAD имеют функцию автоматической трассировки, однако не во всех случаях существует возможность её применения. Автоматическая трассировка имеет минимальные огрехи только в тех проектах, в которых компоновка изделий РЭА не плотная. С увеличением плотности компоновки происходит усложнение процесса трассировки, так как увеличивается количество конфликтных ситуаций. Печатные платы, топология которых спроектирована автоматической программой трассировки, всегда уступают печатным платам, спроектированным опытным разработчиком по количеству ошибок в конечной трассировке, длине проводников, оптимальных решений конфликтных ситуаций. Важным аспектом автоматической трассировки является корректировка получившейся топологии в ручном режиме. Зачастую, данная корректировка требует внушительных изменений в топологии разрабатываемой печатной платы, что неоправданно увеличивает время, необходимое для её разработки.

Основные проблемы, с которыми сталкивается разработчик при автоматизированном проектировании топологии печатных плат следующие:

1. Более длинные проводники.
2. Неоптимальное решение конфликтных ситуаций в топологии.
3. Необходимость перепроверки и коррекции получившейся трассировки.
4. Невозможность трассировки печатных проводников группами (шинами).

Таким образом, решение проблемы автоматической трассировки печатных плат, которое исключило бы хотя бы один из вышеуказанных недостатков, является актуальной задачей. Оно значительно сократило бы как требуемое вмешательство инженера в уже оттрассированную плату, так и время подготовки платы к производству. Для поиска этого решения в данной работе предполагается применить технологии искусственных нейронных сетей.

На данный момент, в различных источниках проблематично найти какие-либо упоминания об использовании нейронных сетей при автоматизации трассировки печатных плат, из чего можно сделать вывод, что данная проблема либо не рассматривалась, либо только начинает попадать в область зрения различных ученых.

Учитывая вышесказанное, предлагается следующая концепция: на основании исходных данных – электрической принципиальной схемы, моделей электронных компонентов, а также расположения элементов на печатной плате, будет формироваться файл изображения. На данном изображении будут отображены

границы печатной платы, а также контактные площадки электронных компонентов. Нейронные сети генерируют новое изображение с дорожками, соединяющими соответствующие контактные площадки.

Входными данными для обучения нейронных сетей будут являться изображения. В качестве алгоритмов обучения нейронных сетей с подкреплением (в англоязычной литературе – Reinforcement Learning) будут использоваться метод Монте-Карло и алгоритм Q-обучения. Метод Монте-Карло заключается в следующем: процесс описывается математической моделью с использованием генератора случайных величин, модель многократно обчисляется, на основе полученных данных вычисляются вероятностные характеристики рассматриваемого процесса. Алгоритм Q-обучения имеет немного иной принцип действия: на основе получаемого от среды вознаграждения агент формирует некоторую функцию полезности Q, что в последствии дает ему возможность уже не случайно выбирать стратегию поведения, а учитывать опыт предыдущего взаимодействия со средой. На основании полученных выходных данных (изображений с топологией) и некоторой качественной функции, будет проведен сравнительный анализ применяемых алгоритмов, выявлены их преимущества и недостатки.

Литература

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А.А. Слинкина. 2-е изд., испр. М.: ДМК Пресс, 2018. С. 35.
2. Алексеева И.Ю., Никитина Е.А. Интеллект и технологии. М: Проспект, 2016. С. 74–76.
3. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. / пер. с англ. М. : Вильямс, 2006. С. 31–36.
4. Уваров А.С. Проектирование печатных плат. 8 лучших программ: М.: ДМК Пресс, 2009. С. 181, 195, 237.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПАРЦИАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ*

Д.Е. Каширский

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
kde@mail.tsu.ru, majitova.meerimai@gmail.com

Оптические измерения активно используются для определения концентраций компонентов газовых сред природного и антропогенного происхождения [1–4]. Каждый газ обладает индивидуальным спектром поглощения, что позволяет идентифицировать газ в составе газовой смеси. Основным преимуществом оптических методов является возможность дистанционного анализа газового состава. Данная работа является продолжением [5], где рассматривался случай определения температуры и парциального давления одного газа.

В отличие от [5], в данной работе решается обратная задача оптики газовых сред для случая четырехкомпонентной (H_2O , CO_2 , CO и NO) газовой среды. Вычисление пропускания газовой смеси осуществлялось методом line-by-line на выбранных из спектрального интервала $1000–2500\text{ см}^{-1}$ двадцати центрах для спектрального разрешения 1 см^{-1} , используя базу данных HITRAN2010 [6]. Температура смеси изменялась в интервале $800–1800\text{ К}$, а парциальное давление каждого из компонентов – $0.1–0.7\text{ атм}$. Эти условия приближены к экспериментальным, при которых проводились измерения спектров пропускания газов H_2O и CO_2 в [7].

По аналогии с [5] для решения обратной задачи оптики газовых сред использовалась полносвязная искусственная нейронная сеть (ИНС) – многослойный персептрон [8]. На вход ИНС подавались значения коэффициентов пропускания для рассматриваемых спектральных центров. На выходе ИНС получались искомые величины – температура и парциальные давления четырех рассматриваемых газов. Количество скрытых слоев и нейронов в них было различным и варьировалось от 2 до 4 и от 10 до 25 соответственно. Обучение ИНС проводилось с помощью градиентного алгоритма оптимизации первого порядка Adam [9] на трех обучающих выборках с разным количеством примеров для обучения. Программная реализация осуществлена на языке Python с применением библиотек TensorFlow [10] и Keras [11].

Проведено исследование зависимости максимальной относительной ошибки определения искомых параметров от размера обучающей выборки и конфигурации ИНС. Показана возможность решения обратной задачи оптики газовых сред по определению температуры и парциальных давлений газов в случае четырехкомпонентной газовой смеси с помощью ИНС с максимальной относительной ошибкой в пределах 5 %.

Литература

5. Bacsik Z., Mink J., Keresztury G. FTIR Spectroscopy of the Atmosphere Part 2. Applications // Applied Spectroscopy Reviews. 2005. Vol. 40. P. 327–390.

* Данное научное исследование выполнено при финансовой поддержке стипендией Президента Российской Федерации (СП-3875.2018.5)

6. *Duxbury G., Hay K.G., Langford N. et al.* Real-time diagnostics of a jet engine exhaust using an intra-pulse quantum cascade laser spectrometer // *Molecular Physics: An International Journal at the Interface Between Chemistry and Physics*. 2011. Vol. 109. P. 2131–2142.
7. *Grosch A., Wackerbarth H., Thiele O. et al.* Infrared spectroscopic concentration measurements of carbon dioxide and gaseous water in harsh environment with a fiber optical sensor by using the HITEMP database // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2014. Vol. 133. P. 106–116.
8. *Ren T., Modest M.F., Fateev A., Clausen S.* An inverse radiation model for optical determination of temperature and species concentration: Development and validation // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2015. V. 151. P. 198–209.
9. *Rothman L.S., Gordon I.E., Barber R.J. et al.* HITEMP, the high-temperature molecular spectroscopic database // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2010. Vol. 111. P. 2139–2150.
10. *Alberti M., Weber R., Mancini M., et al.* Validation of HITEMP-2010 for carbon dioxide and water vapour at high temperatures and atmospheric pressures in 450–7600 cm⁻¹ spectral range // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2015. Vol. 157. P. 14–23.
11. *Neural networks and learning machines*. New York: Prentice Hall, 2009. 936 p.
12. *Kingma D.P., Ba J. Adam* A method for stochastic optimization // *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations*. 2015. URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (30 January 2017).
13. *Abadi M., Barham P., Chen J. et al.* TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning // *Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '16)*. Savannah, USA. 2–4 November 2016. Savannah: USENIX, 2016. P. 265–283.
14. *Gulli A., Pal S.* Deep Learning with Keras. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017. 296 p.

Секция 3. СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНДЕМНОЙ СЕТИ С ФИКСИРОВАННЫМИ ДЛИНАМИ ВХОДЯЩИХ ПАКЕТОВ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В.М. Вишнеvский, А.А. Ларионов, А.А. Мухтаров

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
vishn@inbox.ru, larioandr@gmail.com, mukhtarov.amir.a@gmail.com

Сети массового обслуживания (СеМО) часто используются для оценки характеристик телекоммуникационных сетей. При построении аналитической модели случайные распределения интервалов между пакетами и времён обслуживания выбираются так, чтобы достаточно точно описать характеристики трафика и особенности протокола передачи данных, используемого в сети. При расчёте характеристик сети массового обслуживания длительности обслуживания одного и того же пакета на разных приборах полагаются независимыми, что существенно облегчает расчёт, но вносит погрешность относительно характеристик телекоммуникационной сети, так как в реальности размеры пакетов и, соответственно, длительности обслуживания, не изменяются при передаче пакета по сети.

В докладе рассматривается тандемная сеть массового обслуживания с N фазами обслуживания с пуассоновским входящим потоком, в которой длительности обслуживания каждого пакета одинаковы на всех N обслуживающих устройствах. Длительности обслуживания вычисляются как отношение β_i/R , где $\beta_i \sim \exp(B^{-1})$ – случайный размер i -го пакета в битах, имеющий экспоненциальное распределение, $E\beta_i = B$, а R – скорость передачи (бит/с). Аналитический расчёт характеристик такой сети практически невозможен, поэтому для получения численных оценок используется имитационное моделирование. Результаты, полученные с помощью имитационного моделирования, сравниваются с характеристиками тандемной сети с узлами $M/M/1$, рассчитанными с допущением о независимости времени обслуживания на каждом приборе. Показано, что по мере роста величины N погрешность оценки межконцевых задержек с использованием допущения независимости обслуживания пакетов существенно возрастает: так, для достаточно больших сетей, результаты имитационного и аналитического моделирования могут отличаться в два и более раз.

Имитационное моделирование легко реализуется и даёт достаточно точный результат, но весьма ресурсоёмко. Для более эффективного решения этой проблемы в докладе рассматривается применение различных методов машинного обучения – искусственные нейросети, деревья решений, градиентный бустинг. Для построения регрессионных моделей используются данные, полученные с помощью имитационного моделирования. В обучающей выборке варьируются различные параметры сети – коэффициент загрузки, количество станций в тандеме, битовая скорость передачи пакета станциями, средний размер пакета в битах и др. Далее построенные модели используются для расчёта характеристик сетей на тестовой выборке. Показано, что регрессионные модели позволяют получить оценки характеристик сети, гораздо более точные, чем были получены с помощью аналитической модели с допущением о независимости длительностей обслуживания.

Литература

1. Вишнеvский, В.М. Дудин А.Н., Клименок В.И. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. 564 с.
2. Ларионов, А.А., Ефросинин Д.В., Дудин А.Н., Семёнова О.В. Оценка межконцевых задержек в многошаговой беспроводной сети IEEE 802.11 DCF с помощью многофазной модели массового обслуживания и полумарковского случайного процесса // Материалы 22-й Международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN-2019, Москва). М.: РУДН, 2019. С. 492–504.
3. Breiman L., Friedman J., Olshen R., Stone C. Classification and Regression Trees // Chapman and Hall. New York: Wadsworth, 1984.
4. Drucker H. Improving Regressors using Boosting Techniques // ICML '97 Proceedings of the Fourteenth International Conference on Machine Learning. -Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 1997. P. 107–115.
5. Haykin, Simon. Neural networks and learning machines. 3rd ed. New Jersey: Pearson Education, 2009. P. 938.
6. Kingma D. Adam, J. Lei Ba. A method for stochastic optimization // Published as a conference paper at the 3rd International Conference for Learning Representations. San Diego, 2015. P. 15.

ELECTRON-HOLE RECOMBINATION AND TRANSPORT IN SEMICONDUCTORS: STOCHASTIC DYNAMICS SIMULATION*

K.K. Sabelfeld, A.E. Kireeva

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Novosibirsk, Russia
sabelfeld.karl@yahoo.de, kireeva@ssd.sccc.ru

A Random Walk based stochastic simulation algorithm for solving a nonlinear system of transient drift-diffusion-Poisson equations for semiconductors with random doping profile is developed. The method is then applied to simulate and analyze the stochastic dynamics of the transport and recombination of electrons and holes in doped semiconductor material. This analysis has a theoretical but also a practical interest since an addition even of a small concentration of foreign atoms to the regular semiconductor material produces dramatic changes in the electrical properties. Recently, the first Random Walk algorithm for solving the drift-diffusion-Poisson system was suggested in [1]. The system includes drift-diffusion equations for electrons and holes, and Poisson equation for the potential whose gradient enters the drift-diffusion equations as a drift velocity. The nonlinear drift-diffusion-Poisson system is solved by the iteration procedure including alternating simulation of the drift-diffusion processes and solving the Poisson equation. We introduce a regular mesh on the domain. In general, instead of a regular mesh a cloud of nodes can be used. The electron and hole diffusion with drift are simulated by stochastic cellular automata [3], which calculates the electron and hole concentrations in all lattice points. The drift velocity is calculated as a gradient of the solution of Poisson equation with a right-hand side depending on the electron and hole concentrations. The derivatives of the solution to Poisson equation in all lattice points are calculated by the global Monte Carlo random walk on spheres algorithm [4]. Here, we extend the iteration algorithm to solve the drift-diffusion-Poisson system with additional term governing the recombination of electrons and holes which, in addition, is able to handle random inputs in the system like the stochastic doping, random distribution of quantum dots, and an irregular family of defects. Impact of these random entries on the stochastic dynamics of the drift velocity and electron and hole concentrations is studied. Some technical details of stochastic simulation approach applied to linear drift-diffusion equations governing the exciton transport, radiative and non-radiative recombination can be found in our recent study [2]. To solve the equations with random inputs one needs to simulate the system of equations many times for independent samples of the random parameters, and evaluate the average values of the drift velocity, and the electron and hole concentrations as well. To accelerate the computer simulation a parallel implementation of the iteration algorithm for solving the drift-diffusion-Poisson system is carried out.

Literature

1. *Sabelfeld K., Kireeva A.* Stochastic simulation algorithms for solving a nonlinear system of drift-diffusion-Poisson equations // Nonlinear Differential Equations and Applications, submitted 2019.
2. *Kaganer V.M., Laehnemann J., Pfueller C., Sabelfeld K.K., Kireeva A.E., and Brandt O.* Determination of the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading dislocations: fallacies and opportunities // Physical Review Applied. 2019. № 12(5). 054038.
3. *Karapiperis T., Blankleider B.* Cellular automation model of reaction-transport processes // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1994. № 78 (1-2). P. 30–64.
4. *Sabelfeld Karl K.* A global random walk on spheres algorithm for transient heat equation and some extensions // Monte Carlo Methods and Applications. 2019. № 25 (1). P. 85–96.

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРА РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕГОСЯ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ В ПОЛУСИНХРОННОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ

А.М. Горцев, А.В. Веткина

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

Рассматривается полусинхронный дважды стохастический поток событий (далее – поток), сопровождающий процесс (интенсивность) которого есть кусочно-постоянный стационарный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями S_1 и S_2 . Будем говорить, что имеет место первое состояние процесса (потока) S_1 , если $\lambda(t)=\lambda_1$, и, наоборот, имеет место второе состояние процесса (потока) S_2 , если $\lambda(t)=\lambda_2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). Если имеет место первое состояние процесса S_1 , то в течение временного интервала, когда $\lambda(t)=\lambda_1$, поступает

* Support of the Russian Science Foundation under Grant 19-11-00019 is gratefully acknowledged.

пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_1 . Если имеет место второе состояние процесса S_2 , то в течение временного интервала, когда $\lambda(t)=\lambda_2$, поступает пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_2 . Переход из состояния S_1 процесса $\lambda(t)$ в состояние S_2 возможен только в момент наступления события (свойство синхронных потоков [1]), при этом этот переход осуществляется с вероятностью p (с вероятностью $1-p$ процесс $\lambda(t)$ остается в состоянии S_1). Переход из состояния S_2 процесса $\lambda(t)$ в состояние S_1 может осуществляться в произвольный момент времени, не связанный с моментом наступления события (свойство асинхронных потоков [2]). При этом длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ во втором состоянии есть случайная величина, распределенная по экспоненциальному закону $F(t) = 1 - e^{-\alpha_2 t}$, $t \geq 0$, где α_2 – интенсивность смены состояния S_2 на S_1 . Так как переход из второго состояния в первое возможен в произвольный момент времени, т.е. не привязан к моменту наступления события во втором состоянии, то поток называется полусинхронным [3] дважды стохастическим потоком событий.

После каждого зарегистрированного события в момент времени t_k наступает период мертвого времени случайной длительности, который порождается этим событием, так что другие события исходного потока, наступившие в течение этого периода мертвого времени, недоступны наблюдению и не вызывают его продления (непродлевающееся мертвое время). Принимается, что случайная длительность мертвого времени распределена по равномерному закону с плотностью вероятности $p(T) = 1/T^*$, где T – значение длительности мертвого времени, $0 \leq T \leq T^*$.

Цель данной работы – на основании выборки моментов наступления событий наблюдаемого потока t_1, t_2, \dots оценить параметр T^* . Для оценки параметра T^* используется метод моментов [4, 5]. Находится теоретический момент – математическое ожидание длительности интервала между соседними событиями в наблюдаемом потоке:

$$M(\tau | T^*) = \frac{T^*}{2} + \frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{z} - \frac{a_3}{T^*} \left[\lambda_1 \int_0^{T^*} \tau e^{-\lambda_1 \tau} \int_1^{e^{(\lambda_1 p + \alpha_2) \tau}} f_1(x) dx d\tau - z \int_0^{T^*} \tau e^{-z \tau} \int_1^{e^{(\lambda_1 p + \alpha_2) \tau}} f_2(x) dx d\tau + \right. \\ \left. + e^{-\lambda_1 T^*} \left(T^* + \frac{1}{\lambda_1} \right) \int_1^{e^{(\lambda_1 p + \alpha_2) T^*}} f_1(x) dx - e^{-z T^*} \left(T^* + \frac{1}{z} \right) \int_1^{e^{(\lambda_1 p + \alpha_2) T^*}} f_2(x) dx \right],$$

$$z = \lambda_2 + \alpha_2, \quad a_2 = \frac{\lambda_1 p (\lambda_1 - \lambda_2)}{(\lambda_1 p + \alpha_2)(\lambda_1 - z)}, \quad a_3 = \frac{a_1 p (\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 p + \alpha_2}, \quad f_1(x) = \frac{x^{\frac{\lambda_1(1-p) - \alpha_2}{\lambda_1 p + \alpha_2}}}{\lambda_2(1-p) - zx}, \quad f_2(x) = \frac{x^{\frac{\lambda_1 p - \lambda_2}{\lambda_1 p + \alpha_2}}}{\lambda_2(1-p) - zx}.$$

Оценка \hat{T}^* находится численно из уравнения моментов $M(\tau | T^*) = C_1$, $C_1 = (1/n) \sum_{k=1}^n (t_{k+1} - t_k)$; значение C_1 находится путем имитационного моделирования наблюдаемого потока.

Литература

1. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание длительности мертвого времени и параметров синхронного альтернирующего потока событий // Вестник Томского государственного университета. 2003. № S6. С. 232–239.
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 (19). С. 88–101.
3. Горцев А.М., Каягин А.А., Нежелская Л.А. Оценка максимального правдоподобия длительности мертвого времени в обобщенном полусинхронном потоке // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 1 (30). С. 27–37.
4. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание параметров синхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2002. № S1-1. С. 24–29.
5. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание параметров полусинхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2002. № S1-1. С. 18–23.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПОВТОРНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИСКАЖЕННЫХ ДАННЫХ

С.Г. Алиева

Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан
s@aliyeva.info

Проблема построения математических моделей канала связи в системах передачи информации с повторением передачи искаженных данных является актуальной. Искажения данных происходят в результате различных причин, в том числе, из-за помех разного рода, ненадежности канала и т.д. В связи с этим необходимо построить адекватные математических модели канала связи в системах передачи информации с

учетом повторения передачи искаженных данных. В доступной литературе при разработке математических моделей канала связи эффект повторения передачи искаженных данных учитывается недостаточно. Здесь делается попытка для решения указанной задачи. Учет эффекта повторения искаженных данных в системах передачи информации приводит к необходимости использования моделей систем массового обслуживания (СМО) с обратной связью для построения математических моделей канала связи.

Такие модели впервые были введены в классических работах Такача [1, 2]. Состояния проблемы исследования моделей СМО с обратной связью подробно изложены в работах [3, 4]. В подавляющем большинстве работ изучаются модели СМО без буфера для ожидания в очереди. Вместе с тем, в современных системах передачи информации организуются буфера для хранения ожидающих в очереди данных. Поэтому для адекватного описания работы канала связи в таких системах возникает необходимость изучения моделей СМО с обратной связью и очередями.

В настоящей работе разработаны математические модели многоканальных систем связи с повторной передачей искаженных данных. Считается, что первичные данные образуют пуассоновский поток с известной интенсивностью, и время их передачи имеют показательную функцию распределения. В такой системе искаженные данные мгновенно повторяются, если в этот момент имеется хотя бы один свободный канал; иначе эти данные присоединяются к общей очереди, и в дальнейшем передаются согласно схеме «первый пришел – первым обслужен». Рассматриваются модели систем с общим каналом для передачи первичных и искаженных данных, при этом изучены случаи бесконечной и конечной очереди. Показано, что математической моделью системы является некоторый процесс размножения-гибели с переменными интенсивностями. Таким образом, с учетом общей формулы для указанного процесса найдены вероятности состояний изучаемой системы, и далее находятся требуемые характеристики изучаемой системы. Предложенный подход позволяет изучить модели с зависящими от состояния системы вероятностями возвращения для повторения передачи искаженных данных.

Достоверность передачи данных по каналу характеризуется интенсивностью битовых ошибок. Эта величина определяется как количество принятых битов потока данных по каналу связи, которые были изменены. Доказано, что если в системе с общим каналом для передачи первичных и искаженных данных больше половины поступивших данных передаются с ошибкой, то не зависимо от нагрузочных параметров системе в ней не существует стационарный режим. Предложены алгоритмы расчета указанной характеристики для различных типов моделей. Эти алгоритмы позволяют разрабатывать соответствующее программное обеспечение. В работе приводятся результаты проводимых вычислительных экспериментов и дан их анализ.

Литература

1. Takacs L. A single-server queue with feedback // Bell System Technical Journal. 1963. Vol. 42. P. 505–519.
2. Takacs L. A queuing model with feedback // Operations Research. 1977. Vol. 11. P. 345–354.
3. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Rustamov A.M. Methods for analysis of queuing models with instantaneous and delayed feedbacks // Communications in Computer and Information Sciences. 2015. Vol. 564. P. 185–199.
4. Melikov A.Z., Aliyeva S.H. Refined approximate algorithm for steady-state probabilities of the large-scale queuing systems with instantaneous and delayed feedbacks // Communications in Computer and Information Sciences. 2019. Vol. 1109. P. 188–201.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБОБЩЁННОГО МАР-ПОТОКА СОБЫТИЙ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ СОСТОЯНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕГОСЯ МЁРТВОГО ВРЕМЕНИ

А.В. Кеба, Л.А. Нежелская

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mir.na.mig7@mail.ru, ludne@mail.ru

Рассматривается обобщённый МАР-поток событий с произвольным числом состояний [1, 2], сопровождающий случайный процесс которого $\lambda(t)$ является кусочно-постоянным ненаблюдаемым процессом с n состояниями: $\lambda(t) = \lambda_i$, $i = \overline{1, n}$ ($\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n > 0$). Длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в i -ом состоянии ($i = \overline{1, n}$) определяется случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону, с функцией распределения $F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $i = \overline{1, n}$. Если процесс $\lambda(t)$ в момент времени t находится в i -ом состоянии, то есть $\lambda(t) = \lambda_i$, то на полуинтервале $[t; t + \Delta t)$, где Δt – достаточно малая величина, в момент окончания i -го состояния происходит розыгрыш состояния: 1) наступает событие потока, и процесс $\lambda(t)$ переходит из i -го состояния в j -ое состояние с вероятностью $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$, $i, j = \overline{1, n}$; 2) не наступает событие

потока, и процесс $\lambda(t)$ переходит из i -го состояния в j -ое состояние с вероятностью $P_0(\lambda_j|\lambda_i)$, $i, j = \overline{1, n}$. При этом выполняется условие нормировки $\sum_{j=1}^n P_0(\lambda_j|\lambda_i) + \sum_{j=1}^n P_1(\lambda_j|\lambda_i) = 1$, $i = \overline{1, n}$.

Наступление каждого зарегистрированного события в потоке порождает период ненаблюдаемости в течение фиксированной длительности T (мёртвое время). Другие события обобщённого МАР-потока, наступившие в период мёртвого времени T , недоступны наблюдению и не вызывают продление общего периода ненаблюдаемости (непродлевающееся мёртвое время [3–5]). Подчеркнём, что процесс $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс, поэтому наблюдаются лишь моменты t_1, t_2, \dots наступления событий наблюдаемого потока.

На рис. 1 приведён пример одной из возможных реализаций процесса $\lambda(t)$ и наблюдаемого потока, где λ_i – i -ое состояние случайного процесса $\lambda(t)$, $i = \overline{1, n}$; штриховкой обозначены длительности мёртвого времени; черными кружками – события обобщённого МАР-потока, недоступные наблюдению.

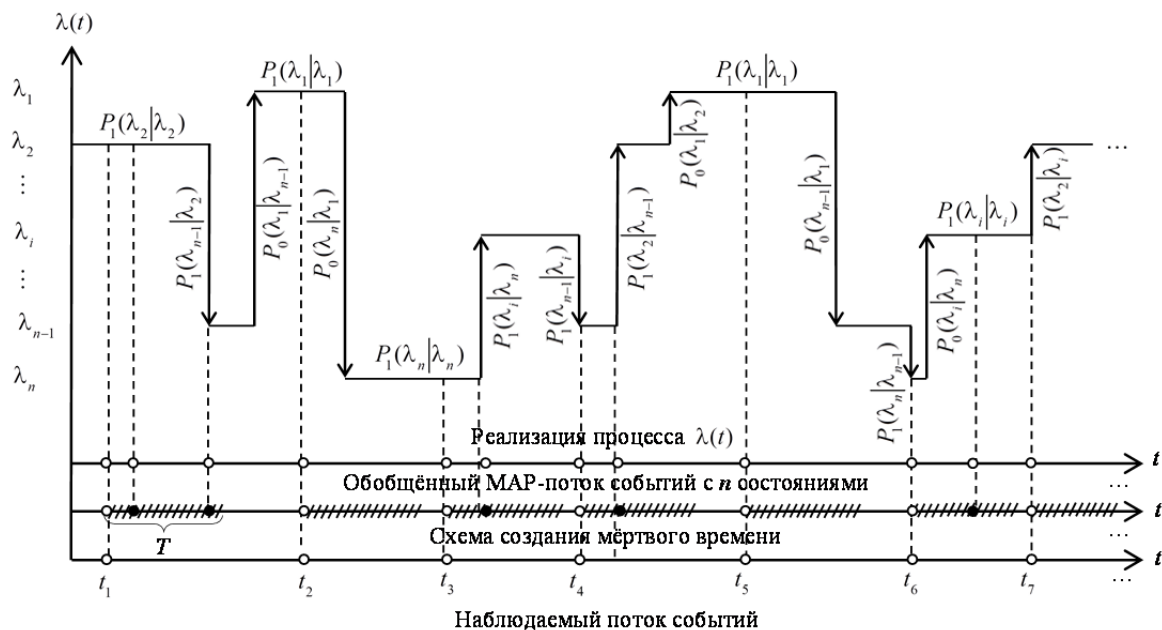


Рис. 1. Реализация обобщённого МАР-потока событий с n состояниями

В данной работе построена имитационная модель исследуемого потока в виде программного кода на языке программирования С# в среде Visual Studio 2015. Анализ корректности результатов проведённых статистических испытаний даёт возможность утверждать, что получена работоспособная модель, непротиворечащая соответствующим входным данным.

Литература

1. Кеба А.В., Нежелская Л.А. Статистические эксперименты на имитационной модели обобщённого МАР-потока событий с произвольным числом состояний // Труды Томского государственного университета. Серия физико-математическая. 2018. Т. 302. С. 157–164.
2. Кеба А.В., Нежелская Л.А. Апостериорные вероятности состояний обобщённого МАР-потока событий с произвольным числом состояний // Труды Томского государственного университета. Серия физико-математическая. 2019. Т. 304. С. 23–32.
3. Nezhelskaya L. Optimal state estimation in modulated MAP event flows with unextendable dead time // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 487. P. 342–350.
4. Nezhel'Skaya L. Probability density function for modulated MAP event flows with unextendable dead time // Communications in Computer and Information Science. 2015. Vol. 564. P. 141–151.
5. Горцев А.М., Соловьёв А.А. Совместная плотность вероятности длительности интервалов потока физических событий при непродлевающемся мёртвом времени // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57, № 7. С. 103–111.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
kravhome@mail.ru

Транспортные потоки на улично-дорожных сетях подчиняются не только временным колебаниям, но и зависят от дня недели. Существующие модели представляют изменения потоков в дневные пики как непредсказуемые колебания. В действительности некоторые колебания на улично-дорожной сети могут быть спрогнозированы с учетом имеющихся данных. Определение из всего массива информации дней недели или времен года, когда потоки претерпевают изменения, позволяет разработать модель или внести изменения в исходные данные для проверки надежности предлагаемых методик, когда значения варьируются в зависимости от дней недели. Применение таких методик может включать в себя учет ситуации на улично-дорожной сети в зависимости от времени суток, которая изменяется от дня недели или сезона, и быть направлено на обеспечение пассажиров городского общественного транспорта, надёжным сервисом услуг в соответствии с расписанием и сезонными потребностями [1, 2]. Величина транспортного потока может систематически отличаться из-за деятельности предприятий, транспортных терминалов, логистических компаний. Статистический подход подходит для выявления систематических изменений суточного транспортного потока на основе известных факторов (день недели/ сезон). Чтобы оценить динамику транспортного потока предлагается исследование взаимосвязи между днем недели и суточным потоком с использованием функциональной линейной модели [3]:

$$\gamma(t) = z\beta(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – вектор функциональных откликов по отношению к непрерывному времени t , который в этом случае будет представлять собой суточный поток; Z – матрица транспортных потоков, состоящая из записей $Z_{k,l}$, которые равны 1, если день k имеет тип l , и 0 в противном случае; $\beta(t)$ – вектором функциональных коэффициентов; $\varepsilon(t)$ – вектор функциональных остатков, которые представляют необъяснимые изменения после того, как переменные типа дня учтены. Предполагается, что эти остатки статистически независимы.

В процессе моделирования были определены наиболее важные переменные, которые необходимо включить в модель, а затем оценены соответствующие коэффициенты. Поскольку тестирование всех возможных комбинаций фиктивных переменных не является возможным, то использовался стандартный процесс прямой пошаговой регрессии.

Для оценки коэффициента типа дня $\beta(t)$ будет использоваться метод наименьших квадратов. Так как существующую область между наблюдаемым и прогнозируемым суточным потоком, нужно минимизировать, можно выразить ее как сумма квадратов остатков [3]:

$$Sum = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m \int \left[y_i(t) - Z_{i,j} \widehat{\beta_j}(t) \right]^2. \quad (2)$$

В исследовании применялся метод функционального анализа данных [4, 5], который редко используется в транспортных проектах. Этот подход позволяет сохранить сложную динамику дневного потока, преобразовывая итоги транспортных замеров в функциональные данные для линейных моделей. Рассмотрим статистический метод определения предпочтительной формулировки модели и, следовательно, факторов «типа» дня, которые оказывают статистически значимое влияние на поток. Результатом применения метода является прогнозирование среднего потока для недели, дня или времени года. Приложение апробировано на реальных данных о транспортных потоках. Было обнаружено, что полученные результаты суточного потока значительно варьируются для каждого дня недели, включая различия во времени и ширине пиковых потоков, а также взаимосвязь между пиковыми и межпиковыми потоками. Сезонные различия в профилях потока были также определены для каждого дня недели. Практическое применение этой методологии не требует приобретения специального программного обеспечения.

Литература

1. Полтавская Ю.О. Оценка качества обслуживания пассажиров общественным транспортом// Научные исследования и разработки молодых ученых. 2014. № 1. С. 110–113.
2. Lebedeva O. Modeling of public transport waiting time indicator for the transport network of a large city // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 04018.
3. Ramsay J.O., Silverman B.W. Functional Data Analysis. New York: Springer, 1997.
4. Watling D.P., Cantarella G.E. Model Representation & Decision-Making in an EverChanging World: The Role of Stochastic Process Models of Transportation Systems. Networks and Spatial Economics. 2013a
5. Watling D.P., Cantarella G.E. () Modelling sources of variation in transportation systems: theoretical foundations of day-to-day dynamic models. Transportmetrica B: Transport Dynamics. 2013b. Vol. 1. P. 3–32.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РЕЗЕРВНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Ю.О. Полтавская, О.А. Лебедева

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
juliapoltavskaya@mail.ru

Пропускная способность участка улично-дорожной сети (УДС) является важной характеристикой, учитываемой при планировании и управлении дорожным движением, поскольку позволяет оценить обладает ли транспортная система достаточной пропускной способностью для преодоления заторов на дорогах. На транспорте пропускная способность традиционно измерялась на отдельных элементах сети, таких как звенья (железнодорожные линии, участки дорог) и узлы (терминалы, перекрестки). Однако эти элементы не составляют пропускную способность всей транспортной сети. Максимальная пропускная способность сети может быть определена классической задачей максимального потока в сетях связи, распределительных и электроэнергетических системах. Но этот подход не применим к транспортной сети, где характеристики моделирования пропускной способности весьма различны: движение включает потоки транспортных средств, пешеходов, грузов; задержка в пути возрастает с увеличением потока в результате перегрузки; при определении максимального потока в перегруженной транспортной сети необходимо учитывать альтернативный выбор маршрута; при установлении максимальной пропускной способности не учитывается уровень обслуживания [1, 2]. Эти характеристики влияют на процесс оптимизации работы транспортной сети и являются актуальной задачей.

Традиционное решение задачи определения пропускной способности основано на концепции резервной ёмкости сети, приведенной авторами в литературе [3]. Эта концепция обеспечивает выбор маршрута с определением пропускной способности транспортной сети, но она ограничена общим наибольшим множителем μ для всех пар пунктов отправления (O) и назначения (D), который может быть определен в сети без превышения пропускной способности элемента УДС и установленного уровня обслуживания, и применен к матрице корреспонденций.

Выбор маршрута с учетом пропускной способности может быть математически выражен с помощью двухуровневой модели [4]: верхний уровень максимизирует пропускную способность сети с учетом ограничений:

$$\max \mu, \text{ при условии } v_a(\mu q) \leq C_a, \forall a \in A, \quad (1)$$

где a – узел улично-дорожной сети, A – набор узлов УДС, v_a – поток к узлу a , C_a – пропускная способность узла a , значение $v_a(\mu q)$ вычисляется путем решения задачи выбора маршрута; а нижний уровень представляет собой комбинированную модель распределения движения потоков:

$$\min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx, \quad (2)$$

где t_a – время движения до узла a .

Выбор маршрута и определение пропускной способности рассматриваются в задаче нижнего уровня, в то время как задача верхнего уровня определяет максимальный множитель матрицы O-D с учетом ограничений пропускной способности участка УДС в уравнении (2). Задача нижнего уровня – это задача сетевого равновесия, которая может быть эффективно решена для данного множителя μ .

В ходе апробации представленной модели получены значения максимальной пропускной способности сети. Установлено, что в каждой паре пунктов O-D потребность постоянна, а при использовании модели спроса пропускная способность элементов УДС может увеличиваться в соответствии с ее ограничениями. Используемая модель, в которой матрица корреспонденций соответствует топологии сети, позволяет наиболее эффективно оптимизировать работу транспортной сети с учетом резервной пропускной способности ее элементов.

Литература

1. Федотова А.С., Лебедева О.А. Степень использования пропускной способности автомобильных дорог // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1, № 1. С. 270–274.
2. Полтавская Ю.О., Крипак М.Н., Гозбенко В.Е. Оценка условий движения транспортных потоков с применением геоинформационных технологий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1 (49). С. 155–161.
3. Wong S.C., Yang H. Reserve capacity of a signal-controlled road network // Transportation Research. 1997. Vol. 31, №. 5. P. 397–402.
4. Kasikitwiwat P., Chen A. Analysis of transportation network capacity related to different system capacity concepts // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2005. Vol. 6. P. 1439–1454.

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИВЯЗНОГО МОДУЛЯ ВЫСОТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ*

Д. Ефросинин¹, В. Рыков^{1,2}, М. Фархадов¹

¹ Институт проблем управления имени Трапезникова (ИПУ) имени В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

² Институт проблем передачи информации (ИППИ) РАН, Москва, Россия

Привязные телекоммуникационные платформы занимают ведущие позиции в современной структуре связи [1]. Они предназначены для долговременного использования и широко применяются как в повседневной жизни, так и в военных целях. Структура таких платформ, включающих несколько двигателей, позволяет им работать даже если несколько из них откажут. Однако отказ одного или нескольких двигателей ведёт к увеличению нагрузки на остальные, что приводит к возможности более быстрого их отказа. Кроме того, отказ всей системы зависит от расположения отказавших двигателей, например, отказ рядом расположенных двигателей с большей вероятностью приводит к отказу системы, чем отказы далеко отстоящих двигателей. Исследование надёжности таких систем и разработка методов её повышения и поддержания на заданном достаточно высоком уровне является одной из актуальных задач. Архитектура и условия эксплуатации привязных платформ позволяют моделировать их надёжность с помощью сложных неоднородных систем типа k -из- n с зависимыми отказами. Модель и методы исследования надёжности таких систем предложена в работе [2], включённой в программу данной конференции.

В настоящем докладе решается задача выбора оптимального срока проведения профилактического обслуживания для системы типа k -из- n с зависимыми отказами её компонент в условиях, когда отказ всей системы зависит от расположения её отказавших компонент с целью максимизации её коэффициента готовности.

Литература

1. *Vishnevsky V.M., Efrosinin D.V., Krishnamoorthy A.* Principles of Construction of Mobile and Stationary Tethered High-Altitude Unmanned Telecommunication Platforms of Long-Term Operation // Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer, 2018. Vol. 919. P. 561–569. DOI: 10.1007/978-3-319-99447-5.
2. *Kozyrev D.V., Rykov V.V., Vishnevsky V.M.* Reliability modeling of the rotary-wing flight module of a high-altitude telecommunication platform // Материалы настоящей конференции.

RELIABILITY MODELING of the ROTARY-WING FLIGHT MODULE of a HIGH-ALTITUDE TELECOMMUNICATION PLATFORM†

D.V. Kozyrev^{1, 2}, V.V. Rykov^{1, 3}, V.M. Vishnevsky²

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

² V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow, Russia

The reliability study of high-altitude unmanned platforms is a very important problem [1, 2]. Platforms of this type are intended to be operational over long periods of time and are widely used in both civilian and military areas. Multi-rotor architecture of such platforms allows for the platform with n rotary-wing engines to stay operational even after $k - 1$ engines fail. However, failure of a part of the engines causes the increase in load on the others, which results in their reliability deterioration. Moreover, the system's operational capability depends on the disposition of the failed engines. So, the worst case for this system is the failure of the proximately-located engines. Hence, while developing the reliability evaluation models and finding an optimal architecture of such systems, it is necessary to consider a factor of the "failure dependency". Thus, the considered systems can be modeled by the k -out-of- n heterogeneous models, which components' failures depend on the configuration of the failed components. Due to the wide practical application area, a lot of papers were devoted to the study of the k -out-of- n systems. In the talk a review of classic and contemporary papers dedicated to the considered class of systems will be proposed.

There are two main results presented in the talk. Firstly, we investigate the reliability function of a heterogeneous k -out-of- n system, which failure depends not only on the number of failed components, but also on their location in the system. And secondly, the system reliability function is calculated in the case when the working components' hazard rate is changed when some components fail.

* Работа поддержана грантами РФФИ № 17-01-00633 и № 17-07-00144.

† The paper has been supported by RFFI Grants numbers 17-01-00633 and 17-07-00144.

Numerical results will be done for the special case of a heterogeneous 3-out-of-6 system with dependent failures of its components.

Literature

1. Khan M.A., Hamila R., Kiranyaz M.S., Gabbou A.M. A Novel UAV – Aided NetWork Architecture Using WiFi Direct // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 67305–67318.
2. Vishnevsky V.M., Efrosinin D.V., Krishnamoorthy A. Principles of Construction of Mobile and Stationary Tethered High-Altitude Unmanned Telecommunication Platforms of Long-Term Operation // Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer, 2018. Vol. 919. P. 561–569. DOI: 10.1007/978-3-319-99447-5.

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРА РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕГОСЯ МЁРТВОГО ВРЕМЕНИ В АСИНХРОННОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ

А.М. Горцев, А.В. Шманкеева

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

Рассматривается асинхронный (ММРР-поток) дважды стохастический поток событий (далее – поток), сопровождающий процесс (интенсивность) которого есть кусочно-постоянный стационарный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями S_1 и S_2 . Будем говорить, что имеет место первое состояние процесса (потока) S_1 , если $\lambda(t) = \lambda_1$, и, наоборот, имеет место второе состояние процесса (потока) S_2 , если $\lambda(t) = \lambda_2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). Если имеет место первое состояние процесса S_1 (второе состояние процесса S_2), то в течение временного интервала, когда $\lambda(t) = \lambda_1$ (когда $\lambda(t) = \lambda_2$), поступает пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_1 (с интенсивностью λ_2). Переход из состояния S_1 (из состояния S_2) процесса $\lambda(t)$ в состояние S_2 (в состояние S_1) может осуществляться в произвольный момент времени, не связанный с моментом наступления события потока (свойство асинхронных потоков [1,2]). При этом длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в состоянии S_i , $i=1,2$, есть случайная величина, распределенная по экспоненциальному закону $F_i(t) = 1 - \exp(-\alpha_i t)$, $t \geq 0$, где α_1 (α_2) – интенсивность смены состояния S_1 на S_2 (S_2 на S_1). В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс.

После каждого зарегистрированного события в момент времени t_k наступает период мёртвого времени случайной длительности, который порождается этим событием, так что другие события исходного потока, наступившие в течение этого периода мёртвого времени недоступны наблюдению и не вызывают его продления (непродлевающееся мёртвое время) [3]. Принимается, что случайная длительность мёртвого времени распределена по равномерному закону с плотностью вероятности $p(T) = 1/T^*$, где T – значение длительности мёртвого времени, $0 \leq T \leq T^*$.

Цель данной работы – на основании выборки t_1, t_2, \dots моментов наступления событий наблюдаемого потока, функционирующего в стационарном режиме, оценить параметр T^* . Для оценки параметра T^* используется метод моментов [4,5]. Находится теоретический момент – математическое ожидание длительности интервала между соседними событиями в наблюдаемом потоке:

$$M(\tau | T^*) = \frac{T^*}{2} + a_1 - \frac{a_2}{T^*} \left\{ \frac{1}{z_2} \int_0^{T^*} \tau e^{-z_1 \tau} \int_{\varphi(\tau)}^1 f_1(x) dx d\tau - \frac{1}{z_1} \int_0^{T^*} \tau e^{-z_2 \tau} \int_{\varphi(\tau)}^1 f_2(x) dx d\tau + \frac{1}{z_1 z_2} (T^* + \frac{1}{z_1}) e^{-z_1 T^*} \int_{\varphi(T^*)}^1 f_1(x) dx - \frac{1}{z_1 z_2} (T^* + \frac{1}{z_2}) e^{-z_2 T^*} \int_{\varphi(T^*)}^1 f_2(x) dx \right\},$$

$$a_1 = \frac{\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 + (\alpha_1 + \alpha_2)^2}{z_1 z_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad a_2 = \frac{\alpha_1 \alpha_2 (\lambda_1 - \lambda_2)^2}{T^* (z_2 - z_1) (\alpha_1 + \alpha_2)^2}, \quad f_1(x) = 1 / (1 - \delta x) x^{z_1 (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad f_2(x) = 1 / (1 - \delta x) x^{z_2 (\alpha_1 + \alpha_2)},$$

$$\delta = \lambda_1 \lambda_2 / z_1 z_2, \quad \varphi(\tau) = e^{-(\alpha_1 + \alpha_2) \tau}, \quad \varphi(T^*) = e^{-(\alpha_1 + \alpha_2) T^*}, \quad z_{1,2} = \frac{1}{2} \left[(\lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_1 + \alpha_2) \mp \sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2 + \alpha_1 - \alpha_2)^2 + 4 \alpha_1 \alpha_2} \right].$$

Оценка \hat{T}^* находится численно из уравнения моментов $M(\tau | T^*) = C_1$, $C_1 = (1/n) \sum_{k=1}^n (t_{k+1} - t_k)$; значение C_1 находится путём имитационного моделирования наблюдаемого потока.

Литература

1. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного асинхронного потока событий при непродлевающемся мёртвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 4 (21). С. 14–25.

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 (19). С. 88–101.
3. *Nezhel'skaya L.* Optimal state estimation in modulated MAP event flows with unextendable dead time. // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 487. P. 342–350.
4. *Горцев А.М., Нежелская Л.А.* Оценивание параметров синхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2002. № S1-1. С. 24–29.
5. *Горцев А.М., Нежелская Л.А.* Оценивание параметров полусинхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2002. № S1-1. С. 18–23.

ОЦЕНКА В ОСОБОМ СЛУЧАЕ ПАРАМЕТРА РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕГОСЯ МЁРТВОГО ВРЕМЕНИ В ОБОБЩЁННОМ АСИНХРОННОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ

Л.А. Нежелская, А.А. Першина

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

Рассматривается обобщённый асинхронный (обобщённый ММРР-поток) дважды стохастический поток событий (далее-поток), сопровождающий процесс (интенсивность), которого есть кусочно-постоянный стационарный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями S_1 и S_2 . Будем говорить, что имеет место первое состояние процесса (потока) S_1 , если $\lambda(t) = \lambda_1$, и наоборот, если $\lambda(t) = \lambda_2$, то имеет место второе состояние процесса S_2 . Если имеет место первое состояние процесса S_1 (второе состояние процесса S_2), то в течение временного интервала, когда $\lambda(t) = \lambda_1$ (когда $\lambda(t) = \lambda_2$), наступает пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_1 (с интенсивностью λ_2). Переход из состояния S_1 (из состояния S_2), процесса $\lambda(t)$ в состояние S_2 (в состояние S_1) может осуществляться в произвольный момент времени, не связанный с моментом наступления события потока (свойство асинхронных потоков [1]). При переходе процесса $\lambda(t)$ из состояния S_1 в S_2 инициируется с вероятностью p ($0 \leq p \leq 1$) дополнительное событие во втором состоянии. Наоборот, при переходе процесса $\lambda(t)$ из второго состояния S_2 в первое S_1 инициируется с вероятностью q ($0 \leq q \leq 1$) дополнительное событие в первом состоянии. При этом длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ (потока) в состоянии S_i , $i = 1, 2$, есть случайная величина, распределённая по экспоненциальному закону $F_i(t) = 1 - \exp(-\alpha_i t)$, $t \geq 0$, где α_1 (α_2) – интенсивность смены состояния S_1 на S_2 (S_2 на S_1). В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс.

После каждого зарегистрированного в момент времени t_k события наступает период мёртвого времени случайной длительности, так что другие события исходного потока, наступившие в течение этого периода мёртвого времени, недоступны наблюдению и не вызывают его продления (непродлевающееся мёртвое время) [2]. Принимается, что случайная длительность мёртвого времени распределена по равномерному закону с плотностью $p(T) = 1/T^*$, где T^* – значение длительности мёртвого времени, $0 \leq T \leq T^*$.

Рассматривается стационарный режим функционирования наблюдаемого потока. Необходимо в момент времени t на основании выборки t_1, t_2, \dots, t_n наблюждённых на полуинтервале $(t_0, t]$ моментов наступления событий оценить методом моментов T^* [3,4]. В настоящей работе (в отличие от статьи [5]) рассматривается особый случай, когда на параметры потока накладываются ограничения: $\lambda_1 + \alpha_1 = \lambda_2 + \alpha_2$, $p = 1$.

Находится теоретический момент – математическое ожидание длительности интервалов между соседними событиями в наблюдаемом потоке:

$$\begin{aligned}
 M(\tau | T^*) &= \frac{T^*}{2} + \frac{1}{\lambda_1 + \alpha_1} + \frac{\alpha_1 \alpha_2 (1 - q)}{T^* (\alpha_1 + \alpha_2)^2} \left\{ \int_0^{T^*} \tau [\tau (\lambda_1 + \alpha_1) - 1] \left[J_1(\tau) - \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 + \alpha_1} J_2(\tau) \right] e^{-(\lambda_1 + \alpha_1)\tau} d\tau + \right. \\
 &+ \frac{\lambda_1 + \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} \int_0^{T^*} \tau \left[J_3(\tau) - \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 + \alpha_1} J_4(\tau) \right] e^{-(\lambda_1 + \alpha_1)\tau} d\tau + e^{-(\lambda_1 + \alpha_1)T^*} \left[(T^*)^2 + \frac{T^*}{\lambda_1 + \alpha_1} + \frac{1}{(\lambda_1 + \alpha_1)^2} \right] \times \\
 &\times \left[J_1(T^*) - \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 + \alpha_1} J_2(T^*) \right] + \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2} \left(T^* + \frac{1}{\lambda_1 + \alpha_1} \right) e^{-(\lambda_1 + \alpha_1)T^*} \left[J_3(T^*) - \frac{\lambda_1 - \alpha_2}{\lambda_1 + \alpha_1} J_4(T^*) \right] \left. \right\}, \\
 J_s(z) &= \int_{\varphi(z)}^1 f_s(x) dx, \quad s = \overline{1, 4}, \quad \varphi(z) = e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)z}, \quad z = \tau \text{ либо } z = T^*, \quad f_1(x) = 1/(1 - \delta x) x^{\binom{\lambda_1 + \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}},
 \end{aligned}$$

$$f_2(x) = 1/(1-\delta x)x^{\binom{\lambda_1+\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2}}, f_3(x) = (\ln x)/(1-\delta x)x^{\binom{1+\lambda_1+\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2}}, f_4(x) = (\ln x)/(1-\delta x)x^{\binom{\lambda_1+\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2}},$$

$$\delta = \lambda_1\lambda_2 - q\alpha_1\alpha_2, 1-\delta x > 0 \text{ для } x \in [0,1].$$

Оценка \hat{T}^* находится численно из уравнения моментов $M(\tau|T^*) = C_1$, $C_1 = (1/n)\sum_{k=1}^n(t_{k+1} - t_k)$; значение C_1 находится путем имитационного моделирования наблюдаемого потока.

Особый случай $\lambda_1 + \alpha_1 = \lambda_2 + \alpha_2$, $q = 1$ симметричен рассмотренному: нужно только в формуле для $M(\tau|T^*)$ заменить q на p . Наконец, особый случай $\lambda_1 + \alpha_1 = \lambda_2 + \alpha_2$, $p=q = 1$ приводит к формуле $\hat{T}^* = 2[C_1 - 1/(\lambda_1 + \alpha_1)]$.

Литература

1. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщенного асинхронного потока событий при непродлеваемом мёртвом времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 4 (21). С. 14–25.
2. Nezhelskaya, L. Optimal state estimation in modulated MAP event flows with unextendable dead time // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol.487. P. 342–350.
3. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание параметров синхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2012. № S1-1. С. 24–29.
4. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание параметров полусинхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2012. № S1-1. С. 18–23.
5. Нежелская Л.А., Першина А.А. Оценивание параметра непродлеваемого мёртвого времени случайной длительности в обобщённом асинхронном потоке событий // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2019): материалы XVIII международной конференции имени А.Ф. Терпугова, 26–30 июня 2019. Томск: Изд-во НТЛ, 2019. С. 352–357.

OPTIMAL CONTROL OF A PROCESSOR SHARING QUEUEING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS

D. Efrosinin^{1, 2}, V. Rykov^{3, 4}, N. Stepanova³

¹Johannes Kepler University, Linz, Austria

²RUDN University, Moscow, Russia

³Institute of Control Problems, Moscow, Russia

⁴Institute for Information Transmission Problems, Moscow, Russia
dmitry.efrosinin@jku.at, vladimir_rykov@mail.ru, natalia0410@rambler.ru

Queues with processor shared service have attracted considerable interest over the past few decades as models for sharing the resources in computer and communication systems. If the capacity of a server with processor sharing (PS) is N it means that N customers presented in the system receives service at this server simultaneously at an equal fraction of $1/N$ of the total service rate. While the first steps in the analysis of homogeneous queueing systems with PS have already been developed, see e.g. [1], a missing link to an applicability of these models is the study of PS queues with heterogeneous servers and their optimal control. In this paper we use a dynamic programming approach to study the problem of controlling a PS Markovian queueing system $M/M/2$ with heterogeneous servers. The servers differ in the service intensities μ_1 and μ_2 as well as in capacities N_1 and N_2 . The objective is to allocate the customers either to an available free server, or to the queue at each arrival and service completion epoch to minimize the long-run average number of customers in the system.

The theoretical foundations of controlled markovian queueing systems have been developed within the theory of Markov decision processes [3, 4]. The problem of optimal dynamic routing of customers between heterogeneous servers was considered in [2, 5]. It was show that the optimal policy belongs to a class of structured policies, i.e. threshold policies, which use a slow server only when the queue length exceeds a certain threshold. Using a Markov decision process we show that the optimal policy is also for the current model of a threshold type but with threshold levels depending both on the queue length and state of servers. We study also the case of the main model where servers are identical in service rates but different in capacity. The presented theoretical results are accompanied by numerical examples.

Literature

1. Dudin A.N., Dudin S.A., Dudina O.S., Samuoylov K.E. Analysis of queueing model with processor sharing discipline and customers imtatience // Operations Research Perspectives. 2018. № 5. P. 245–255.

2. *Efrosinin D., Stepanova N.* (2019) On Optimal Control Policy of $M\lambda P(t)/M/2$ Queueing System with Heterogeneous Servers and Periodic Arrival Process // Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2019. Lecture Notes in Computer Science / ed. by V. Vishnevskiy, K. Samouylov, D. Kozhrev. Cham: Springer, 2019. № 11965. P. 179–194.
3. *Kitaev M.Y., Rykov V.V.* Controlled queueing systems. New York: CRC Press, 1995. 304 p.
4. *Puterman M.L.* Markov decision process: Discrete stochastic dynamic programming. New York: John Wiley&Sons, 1994. 684 p.
5. *Rykov V., Efrosinin D.* Optimal control of queueing systems with heterogeneous servers // Queueing Systems. 2004. № 46. P. 389–407.

РОЗНИЧНАЯ ПРОДАЖА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОЙ ПАРТИИ ПРОДУКЦИИ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРОКОМ ГОДНОСТИ ПРИ ММР-ПОТОКЕ МОМЕНТОВ ПРОДАЖ

К.И. Лившиц, Е.С. Соколенко, Л.В. Чупрасова

Томский государственный университет, Томск, Россия
kim47@mail.ru, l.chuprasova@gmail.com, katerina_tomsk@sibmail.com

Одной из классических задач теории управления запасами является проблема управления запасами, имеющими ограниченный срок годности (the newsvendor problem) [1, 2]. Первоначально исследовалась задача реализации единственного товара, имеющего фиксированную цену, в предположении, что поток покупателей является пуассоновским с фиксированной интенсивностью, затем аналогичные задачи начали рассматриваться для многономенклатурных моделей и более сложных моделей потока покупателей [3–5].

В данной работе задача управления продажей многономенклатурной партии товара, имеющего ограниченный срок реализации, исследуется при следующих предположениях. Продавец, располагая средствами в размере S_0 , приобретает партию из n товаров $\xi = [\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n]^T$ по оптовой цене $d = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$ и перепродает ее по розничной цене $c = [c_1, c_2, \dots, c_n]^T$. Предполагается, что время реализации T ограничено. По истечении времени T товар не может быть продан, а продавец несет дополнительные затраты $b = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$, связанные с утилизацией нереализованной части товара. Моменты продажи товара образуют ММР-поток с двумя состояниями λ_1 и λ_2 и матрицей инфинитезимальных характеристик $[q_{ij}]$. Покупатели покупают товар независимо друг от друга. Объем покупки – случайная величина $z = [z_1, z_2, \dots, z_n]^T$ с плотностью распределения вероятностей $\psi(z)$ и моментами $M\{z_i\} = a_i$, $M\{z_i z_j\} = r_{ij}$. Необходимо определить оптимальный размер партии товара ξ и розничные цены c , которые обеспечивает продавцу максимальную среднюю прибыль.

Пусть $S(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_n(t)]^T$ – количество товара, проданного к моменту времени t . В работе доказано, что при $t \gg 1$ плотность распределения вероятностей спроса на товар является асимптотически нормальной с вектором средних $[\lambda_0 a_1 t, \dots, \lambda_0 a_n t]^T$ и корреляционной матрицей $[R_{ij}] = [\lambda_0 r_{ij} t - 2 \frac{\sigma_\lambda^2}{q_{11} + q_{22}} a_i a_j t]$, где λ_0 и σ_λ^2 – среднее и дисперсия процесса $\lambda(t)$. В работе на основе найденной асимптотической плотности распределения вероятностей спроса найден оптимальный размер партии товара ξ , приобретаемой для перепродажи, и величина торговой наценки. Предложен и исследован алгоритм на основе метода моментов, позволяющий оценить неизвестные средние $\lambda_0 a_i t$ и неизвестную корреляционную матрицу $[R_{ij}]$.

Литература

1. *Petruzzi, N.C., and Dada, M.* Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions // Operations Research. 1999. Vol. 47 (2). P. 183–194.
2. *Chen X., Simchi-Levi D.* Joint Pricing and Inventory Management // In The Oxford handbook of pricing management / ed. by Ö. Özer, R. Phillips. London: Oxford University Press, 2012.
3. *Turken N., Tan Y., Vakharia A.J., Wang L. et al.* The Multi-Product Newsvendor Problem: Review, Extension, and Directions for Future Research // In Handbook of Newsvendor Problems: Models, Extensions and Applications. 2012. Vol. 176. P. 3–39.
4. *Kitaeva A., Livshits K., Ulyanova E.* The Multiproduct Newboy Problem with Price-Depended Demand and Fast Moving Items // Information technologies and mathematical modeling // Proceeding of the 16 th International Scientific Conference, ITMM 2017 named after A.F. Terpugov. CCIS. Vol. 800. Springer, 2017. P. 297–311.
5. *Kitaeva A.V., Livshits K.I., Ulyanova E.S.* Estimating the demand parameters for single period problem, markov-modulated poisson demand, large lot size, and unobserved lost sale // IFAC-PapersOnline. 2018. Vol. 51, № 11. P. 882–887.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ СКОРОПОРТЯЩЕЙСЯ ПРОДУКЦИИ С РЕЛЕЙНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ТЕМПОМ ПРОИЗВОДСТВА И ММР-ПОТОКОМ МОМЕНТОВ ПРОДАЖ

К.И. Лившиц

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
kim47@mail.ru

В работе задача производства и сбыта скоропортящейся продукции рассматривается при следующих предположениях. Пусть $S(t)$ – количество продукции в момент времени t . Считается, что продукция производится (поступает) со скоростью $C(S)$, зависящей от текущего запаса $S(t)$, так что за время Δt поступает $C(S(t))\Delta t$ единиц продукции. Функция $C(S)$ выбирается в виде

$$C(S) = \begin{cases} C, & S \leq S_0, \\ 0, & S > S_0, \end{cases}$$

где величина S_0 интерпретируется как максимально допустимый уровень запаса. Отметим, что при детерминированной постановке задачи управления производством и сбытом продукции такое управление является оптимальным. При хранении продукция непрерывно портится. Считается, что за малое время Δt потери равны $kS(t)I(S)\Delta t$, где $I(S)$ – единичная ступенчатая функция. Наконец, накопленная продукция непрерывно реализуется. Величины покупок являются независимыми одинаково распределенными случайными величинами с плотностью распределения $\varphi(x)$ и моментами $M\{x\} = a$ и $M\{x^2\} = a_2$. Моменты продаж образуют дважды стохастический пуассоновский поток с интенсивностью $\lambda(t)$. Процесс $\lambda(t)$ является однородной цепью Маркова с непрерывным временем, n состояниями $\lambda(t) = \lambda_i$ и матрицей инфинитезимальных характеристик $Q = [q_{ij}]$ ранга $n-1$.

Основной результат работы состоит в следующем. Обозначим $P_i(s) = P\{S(t) < s; \lambda(t) = \lambda_i\}$ ($i = \overline{1, n}$) – функцию распределения количества продукции в стационарном режиме. В работе аналогично [1-3] доказано, что при выполнении условий $C = (1 + \theta)\lambda_0 a$, $k = k(\theta) = k_0 \theta^2$ и $\theta \ll 1$

$$P_i(s) = \begin{cases} \pi_i D e^{\frac{A_1}{A_2} \theta s}, & s < 0, \\ \pi_i D \left(1 + \frac{A_1}{A_2} \int_0^{\theta s} e^{\frac{A_1}{A_2} x - \frac{k_0 x^2}{2A_2}} dx \right), & 0 < s < S_0, \\ \pi_i, & s > S_0, \end{cases}$$

где $D = \left[1 + \frac{A_1}{A_2} \int_0^{z_0} e^{\frac{A_1}{A_2} x - \frac{k_0 x^2}{2A_2}} dx + \theta \frac{A_1}{A_2} e^{\frac{A_1}{A_2} z_0 - \frac{k_0 z_0^2}{2A_2}} \right]^{-1}$, $z_0 = \theta S_0$, $\lambda_0 = M\{\lambda_i\}$, π_i – финальные вероятности состояний

λ_i , $A_1 = \lambda_0 a$, $A_2 = \frac{\lambda_0 a_2}{2} - a^2 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\gamma_i} \sum_{j=1}^n (\lambda_0 - \lambda_j) R_{ij} \sum_{j=1}^n P_{ij} (\lambda_0 - \lambda_j) \pi_j$, $Q^T = R\gamma P$. На отдельных примерах оценена точность предложенной аппроксимации. Найдена длительность периода неудовлетворенного спроса в стационарном режиме.

Литература

1. Livshits K., Ulyanova E. Switch-Hysteresis Control of the Production Process in Model with Perishable Goods // Communications in Computer and Information Sciences. 2016. № 638. P. 192–206.
2. Livshits K., Ulyanova E. Switch-hysteresis control of the selling times flow in a model with perishable goods // Communications in Computer and Information Science. 2015. № 564. P. 263–274.
3. Лившиц К.И., Ульянова Е.С. Модель управления запасами однородной продукции с релейным управлением темпом производства и ММР-потоком моментов продаж // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика 2018. № 44. С. 50–61.

ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ СОБЫТИЯМИ ПОЛУСИНХРОННОГО ПОТОКА ВТОРОГО ПОРЯДКА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ

Л.А. Нежелская, Д.А. Тумашкина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
ludne@mail.ru, diana1323@mail.ru

Рассматривается полусинхронный дважды стохастический поток событий второго порядка (далее – поток), сопровождающий случайный процесс которого $\lambda(t)$ является кусочно-постоянным с двумя состояниями S_1 и S_2 . Полагается, если $\lambda(t) = \lambda_i$, $i = 1, 2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$), то имеет место состояние S_i процесса $\lambda(t)$ (потока). Длительность интервала между событиями потока в состоянии S_1 определяется случайной величиной $\eta = \min(\xi^{(1)}, \xi^{(2)})$, где случайные величины $\xi^{(l)}$, $l = 1, 2$, независимы с распределениями $F_1^{(1)}(t) = 1 - e^{-\lambda_1 t}$, $F_1^{(2)}(t) = 1 - e^{-\alpha_1 t}$ соответственно. В момент наступления события в состоянии S_1 процесс $\lambda(t)$ переходит из S_1 в S_i с вероятностью $P_1^{(1)}(\lambda_i | \lambda_1)$ либо с вероятностью $P_1^{(2)}(\lambda_i | \lambda_1)$, $i = 1, 2$, в зависимости от того, какая из величин $\xi^{(1)}$ или $\xi^{(2)}$ приняла минимальное значение. Здесь $\sum_{i=1}^2 P_1^{(l)}(\lambda_i | \lambda_1) = 1$, $l = 1, 2$. Длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в состоянии S_2 – случайная величина с функцией распределения $F_2(t) = 1 - e^{-\lambda_2 t}$. В течение времени пребывания процесса $\lambda(t)$ в состоянии S_2 имеет место пуассоновский поток событий с параметром λ_2 . Переход $\lambda(t)$ из S_1 в S_i , $i = 1, 2$, происходит только в момент наступления события (признак синхронных потоков [1, 2]); переход процесса $\lambda(t)$ из состояния S_2 в S_1 происходит в произвольный момент времени, не связанный с моментом наступления события (признак асинхронных потоков [3]). Наличие указанных признаков приводит к полусинхронному потоку событий [4].

Изучается стационарный режим. После зарегистрированного в момент времени t_k события наступает период мертвого времени фиксированной длительности T : другие события исходного потока, наступившие в течение периода T , недоступны наблюдению. По окончании этого периода первое наступившее событие снова создает период мертвого времени (непродлеваемое мертвое время [5]) и т.д. Процесс $\lambda(t)$ – скрытый марковский; наблюдаются только моменты $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$ наступления событий в наблюдаемом потоке.

Находится плотность вероятности $p_T(\tau_k)$ значений длительности k -го интервала $\tau_k = t_{k+1} - t_k$ между t_k и t_{k+1} , $k = 1, 2, \dots$. В силу стационарности справедливо $p_T(\tau_k) = p_T(\tau)$, $\tau \geq 0$, $k = 1, 2, \dots$.

Для общего случая задания параметров $\lambda_1 + \alpha_1 \neq \lambda_2 + \alpha_2$ плотность вероятности $p_T(\tau)$ имеет вид

$$p_T(\tau) = 0, \quad 0 \leq \tau < T; \quad p_T(\tau) = \gamma(T)z_1 e^{-z_1(\tau-T)} + [1 - \gamma(T)]z_2 e^{-z_2(\tau-T)}, \quad \tau \geq T,$$

$$\gamma(T) = \pi_1(z_1 - z_2 - a)(z_1 - z_2)^{-1} \left(1 - a(z_1 - \lambda_2) \left[\lambda_2(z_1 - a) - z_1 z_2 e^{(a+\alpha_2)T} \right]^{-1} \right),$$

$$z_1 = \lambda_1 + \alpha_1, \quad z_2 = \lambda_2 + \alpha_2, \quad \pi_1 = \alpha_2 / (a + \alpha_2), \quad \pi_2 = a / (a + \alpha_2), \quad a = \lambda_1 P_1^{(1)}(\lambda_2 | \lambda_1) + \alpha_1 P_1^{(2)}(\lambda_2 | \lambda_1);$$

для особого случая задания параметров $\lambda_1 + \alpha_1 = \lambda_2 + \alpha_2$ плотность $p_T(\tau)$ имеет вид

$$p_T(\tau) = 0, \quad 0 \leq \tau < T; \quad p_T(\tau) = [z_1 - \pi_2(T)\alpha_2(1 - z_1(\tau - T))] e^{-z_1(\tau-T)}, \quad \tau \geq T,$$

$$\pi_2(T) = \pi_2 \left(1 - a\alpha_2 \left[\lambda_2(z_1 - a) - z_1^2 e^{(a+\alpha_2)T} \right]^{-1} \right), \quad a, \quad \pi_2 \text{ определены выше.}$$

Литература

1. Василевская Т.П., Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание длительности мертвого времени и параметров синхронного альтернирующего потока с проявлением либо непроявлением событий // Вестник Томского государственного университета. 2004. № S9-2. С. 129–138.
2. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание параметров синхронного дважды стохастического потока событий методом моментов // Вестник Томского государственного университета. 2002. № 1. С. 24–29.
3. 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 (19). С. 88–101.
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.
5. Nezhelskaya L. Optimal state estimation in modulated MAP event flows with unextendable dead time // Communications in Computer and Information Science. 2014. V. 487. P. 342–350.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ВИДЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

И.Ю. Гендрина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
igendrinal@bk.ru

Системный подход является универсальным механизмом исследования закономерностей развития различных систем, то есть структур, обладающих определенными свойствами [1]. Его применение для решения задач переноса излучения через атмосферу основывается на том, что структура, состоящая из источника излучения (подстилающей поверхности), среды распространения и приемного устройства, удовлетворяет всем признакам линейной системы [1,2]. В теории переноса излучения такая структура называется системой видения [3].

Для анализа влияния системы L на произвольный объект, расположенный на подстилающей поверхности, необходимо построить отклик системы L на точечный -импульс – функцию размытия точки (ФРТ):

$$L[\delta(x - x_0, y - y_0)] = h(x, y; x_0, y_0).$$

Система называется инвариантной к сдвигу [2-4], если сдвиг входного сигнала приводит к равному сдвигу выходного сигнала:

$$L[\delta(x - x_0, y - y_0)] = h(x - x_0, y - y_0).$$

Произвольная функция $f(x, y)$ может быть представлена как суперпозиция (интеграл) точечных масс:

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_0, y_0) \delta(x - x_0, y - y_0) dx_0 dy_0 .$$

Поэтому выходной сигнал (изображение произвольного объекта) представляет собой свертку произвольного объекта и ФРТ:

$$g(x, y) = L[f(x, y)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_0, y_0) h(x - x_0, y - y_0) dx_0 dy_0.$$

Двумерное преобразование Фурье функции размытия точки называется оптической передаточной функцией (ОПФ) системы и представляет собой характеристику системы видения в частотной области:

$$H(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} h(\xi, \eta) e^{-i(u\xi + v\eta)} d\xi d\eta.$$

Таким образом, для систем, инвариантных к сдвигу, справедливо простое соотношение:

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v).$$

Здесь $F(u, v)$ – двумерное преобразование Фурье исходного объекта.

ФРТ и ОПФ являются основными характеристиками, определяющими передачу изображения в системе наблюдения. Эти системные характеристики исследованы в данной работе для различных условий наблюдения.

Литература

1. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ. М.: КНОРУС, 2010. 224 с.
2. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. М.: Мир, 1971. 495 с.
3. Зуев В.Е., Белов В. В., Веретенников В. В. Теория систем в оптике дисперсных сред. Томск: Издательство СО РАН, 1997. 402 с.
4. Белов В.В., Креков Г.М., Макушкина И.Ю. Изопланарность в системах видения // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2, № 10. С. 1011–1018.

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ В РЕКУРРЕНТНОМ ОБОБЩЕННОМ СИНХРОННОМ ПОТОКЕ СОБЫТИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Л.А. Нежелская, Е.Ф. Сидорова

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

Настоящая работа является непосредственным развитием исследований являющегося математической моделью информационных потоков в телекоммуникационных сетях связи дважды стохастического обобщенного синхронного потока событий второго порядка (далее – поток), проведенных в [1, 2].

При оценивании состояний и параметров потоков для решения задачи адаптации реальных систем к ним следует учитывать потери информации, связанные с работой регистрирующих приборов (период мертвого

времени [3]): события потока, наступающие в течение обозначенного периода, не вызывают его продления и теряются для наблюдения. С тем чтобы выявить потери, возникающие из-за мертвого времени, необходимо оценить его длительность, например, методом максимального правдоподобия [4].

Рассматривается функционирующий в стационарном режиме поток, сопровождающий процесс $\lambda(t)$ которого есть принципиально ненаблюдаемый кусочно-постоянный случайный процесс с двумя состояниями S_1 и S_2 ; S_i понимается как i -ое состояние $\lambda(t)$ и имеет место при $\lambda(t) = \lambda_i$, $i = 1, 2$, $\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$.

Длительность интервала между событиями потока в i -ом состоянии определяется случайной величиной $\eta_i = \min(\xi_i^{(1)}, \xi_i^{(2)})$, где случайные величины $\xi_i^{(1)}$ и $\xi_i^{(2)}$ независимы и распределены по законам $F_i^{(1)}(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$ и $F_i^{(2)}(t) = 1 - e^{-\alpha_i t}$, $i = 1, 2$, соответственно. В момент наступления события потока $\lambda(t)$ либо переходит из i -го состояния в j -ое, $i \neq j$, либо остается в i -ом состоянии, $i = j$, с вероятностью $P_1^{(1)}(\lambda_j | \lambda_i)$ или $P_1^{(2)}(\lambda_j | \lambda_i)$, $i, j = 1, 2$, в зависимости от того, какая из величин $\xi_i^{(1)}$, $\xi_i^{(2)}$ приняла минимальное значение, $i = 1, 2$; $P_1^{(1)}(\lambda_j | \lambda_i) + P_1^{(2)}(\lambda_j | \lambda_i) = 1$, $l = 1, 2$, $i, j = 1, 2$, $i \neq j$. Процесс $\lambda(t)$ является скрытым марковским, а матрицы инфинитезимальных характеристик имеют вид [1, 2].

После каждого зарегистрированного в момент времени t_k , $k = 1, 2, \dots$, события наступает непродлевающееся мертвое время фиксированной длительности T , в течение которого другие события исходного потока недоступны наблюдению; по его окончании первое наступившее событие вновь порождает период ненаблюдаемости длительности T и т.д.

В силу изложенных предпосылок последовательность доступных наблюдению и заключающих в себе всю доступную информацию о потоке моментов $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$ образует вложенную цепь Маркова $\{\lambda(t_k)\}$.

Рассматривается случай рекуррентного потока. Для определения оценки \hat{T} длительности мертвого времени T строится функция правдоподобия в предположении, что остальные параметры потока, а именно λ_i , α_i , $P_1^{(l)}(\lambda_j | \lambda_i)$, $l = 1, 2$, $i, j = 1, 2$, фиксированы и известны точно, т.е. $L(\lambda_i, \alpha_i, P_1^{(l)}(\lambda_j | \lambda_i), T | \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}, \dots) = L(T | \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}, \dots)$, где $\tau^{(k)}$ – упорядоченные по возрастанию значения $\tau_k = t_{k+1} - t_k$, $\tau_k \geq 0$, длительностей интервалов между t_k и t_{k+1} , $k = 1, 2, \dots$. Согласно методу максимального правдоподобия [4] значение T , $0 \leq T \leq \tau_{\min}$, при котором $L(T | \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}, \dots) = \prod_{k=1}^n p_T(\tau^{(k)}) = \prod_{k=1}^n (\beta_1 \varphi^{-1}(z_2 - (\beta_2 - \varphi_1) e^{-\varphi T}) e^{-z_1(\tau^{(k)} - T)} + \beta_2 \varphi^{-1}(z_1 - (\beta_1 - \varphi_2) e^{-\varphi T}) e^{-z_2(\tau^{(k)} - T)})$, где $z_i = \lambda_i + \alpha_i$, $\varphi_i = \lambda_i P_1^{(1)}(\lambda_j | \lambda_i) + \alpha_i P_1^{(2)}(\lambda_j | \lambda_i)$, $\varphi = \sum \varphi_i$, $\beta_i = \lambda_i P_1^{(1)}(\lambda_i | \lambda_i) + \alpha_i P_1^{(2)}(\lambda_i | \lambda_i)$, $i, j = 1, 2$, $i \neq j$, достигает своего глобального максимума, есть \hat{T} , т.е. \hat{T} – решение оптимизационной задачи $L(T | \tau^{(1)}, \dots, \tau^{(k)}, \dots) \Rightarrow \max_T, 0 \leq T \leq \tau_{\min}$.

Литература

1. *Nezhel'skaya L., Pagano M., Sidorova E.* Distribution parameters estimation in recurrent synchronous generalized doubly stochastic flow of the second order // *Lecture Notes in Computer Science*. 2019. Vol. 11965. P. 276–288.
 2. *Нежелская Л.А., Сидорова Е.Ф.* Оценивание длительности непродлевающегося мертвого времени в потоке физических событий методом моментов // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2019. Т. 62, № 9. С. 94–100.
 3. *Normey-Rico J.E.* Control of dead-time process. London: Springer-Verlag, 2007. 462 p.
- Малинковский Ю.В.* Теория вероятностей и математическая статистика (часть 2. Математическая статистика). Гомель: УО «ГТУ им. Ф. Скорины», 2004. 146 с.

ESTIMATION OF ACTUARIAL PRESENT VALUE OF DEFERRED LIFE ANNUITY USING INFORMATION ABOUT EXPECTATION OF LIFE

Yu.G. Dmitriev, G.M. Koshkin

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru

Let x be the age of an individual and at the moment $t_0 = 0$ payments start. The idea of the r -year deferred life annuity in accordance with [1. P. 174] is this: from the moment $t_0 + r = r$, an individual once a year begins to get a

certain money, which we take as the unit of money, and payments are made only for the lifetime of an individual. The deferred life annuity is connected with the respective type of insurance. Thus, the average total cost of the present continuous r -year deferred life annuity is defined by the following formula (see [1. P. 184]):

$${}_r\bar{a}_x(\delta) = \frac{1 - {}_r\bar{A}_x}{\delta},$$

where ${}_r\bar{A}_x = \frac{e^{\delta x}}{S(x)} \int_{x+r}^{\infty} e^{-\delta t} dF(t)$ is a net premium (the expectation of the present value of an insured unit sum for the deferred life insurance at age x), δ is a force of interest, $S(x) = P(X > x)$ is a survival function of an individual, X is his lifetime, $F(x) = P(X \leq x) = 1 - S(x)$ is a distribution function.

The paper deals with the estimation problem of the actuarial present value of the continuous r -year deferred life annuity using auxiliary information about the expectation of life. Nonparametric estimators of this life annuity are synthesized based on the ideas of the articles [2-4] by individuals' death moments X_1, \dots, X_n . Suppose we know the expected lifetime

$$EX = a.$$

The estimator by making use of such information according to [5-7] one can take as follows:

$${}_r\bar{a}_x^n(\delta, \lambda) = \frac{1 - {}_r\bar{A}_x^n - \lambda(\bar{x} - a)}{\delta},$$

where ${}_r\bar{A}_x^n = \frac{e^{\delta x}}{S_n(x)} \int_{x+r}^{\infty} e^{-\delta t} dF_n(t)$, $S_n(x)$ and $F_n(x)$ are empirical survival and distribution functions, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ is an estimator of a . The parameter λ we will find minimizing the principal term of the asymptotic mean squared error (MSE) of ${}_r\bar{a}_x^n(\delta, \lambda)$. The usage of such auxiliary information can often provide the MSE smaller than that of standard estimators. An adaptive estimator is also proposed. We proved the asymptotic normality of all these estimators using the results of [8].

Note that the improved estimators of life annuities one can obtain by substituting of empirical survival functions by the smooth empirical survival functions (cf. [9]).

Literature

1. *Falin G.I.* Mathematical foundations of the theory of life insurance and pension schemes. Moscow: Ankil, 2002. 262 p.
2. *Koshkin G.M., Lopukhin Ya.N.* Estimation of net premiums in the models of long-term life insurance // Review of Applied and Industrial Mathematics. 2003. Vol. 10, is. 2. P. 315–329.
3. *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. KORUS 2001. Tomsk: TPU, 2001. Vol. 2. P. 296–299.
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 / ed. by I. Frenkel and A. Lisnianski. SMRLO 2016. Beer Sheva, Israel: Conference Publishing Services The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. P. 506–510.
4. *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.
5. *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.
6. *Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M.* Nonparametric estimators of probability characteristics using unbiased prior conditions // Statistical Papers. 2018. Vol. 59, № 4. P. 1559–1575.
7. *Koshkin G.M.* Asymptotic properties of functions of statistics and their application to nonparametric estimation // Automat. and Remote Control. 1990. Vol. 51, № 3. P. 345–357.
8. *Koshkin G.M.* Smooth recurrent estimators of the reliability functions // Russian Physics Journal. 2015. Vol. 58, № 7. P. 1018–1025.

STOCHASTIC METHOD FOR ASSESSING THE ADDITIONAL ERROR OF TECHNICAL MEASURING SYSTEMS

Yu.A. Lipnin, V.G. Mazur, M.V. Piltsov, A.D. Poudalov

AnSTU, Angarsk, Russia
systems-ntfs@mail.ru

Technological processes in industrial systems are controlled based on measurements of their current parameters. In turn, the value of the parameters is determined by many factors that affect the technological process, for example, the

composition of the raw material, the ambient temperature, the condition of the technological equipment, the process mode, and many others, which are usually of a probabilistic nature. Based on this, one can assume that the measured parameters, due to the central limit theorem, have asymptotically tending to the normal law of probability distribution. In the normal mode of operation of technological equipment under the control of an automatic process control system, we can confidently assume that the time series of process parameters can be attributed to stationary random processes, at least based on expected value.

The most common type of mathematical model of a measurable quantity is an additive model of the form:

$$x(t) = \mu_x + \overset{\circ}{x}(t) + x_h(t),$$

where $\mu_x = M\{x(t)\}$ – is EV of input random process, $\overset{\circ}{x}(t)$ – is centered random process with normal distribution and dispersion $\sigma_x^2 = D\left\{\overset{\circ}{x}(t)\right\}$, $x_h(t)$ – is deterministic component, usually a harmonic component, $x_h(t) = c_x \sin(\omega_x t)$ – is a harmonic component which has amplitude c_x and frequency ω_x .

The most common type of mathematical model of an influencing quantity is an additive model of the form:

$$\varepsilon(t) = \mu_\varepsilon + \varepsilon^0(t) + \varepsilon_h(t),$$

where $\mu_\varepsilon = M\{\varepsilon(t)\}$ is the EV of the bias of the influencing quantity relative to the normal value taken during graduation, $\varepsilon^0(t)$ – is a centered stationary random process having a normal distribution law and dispersion σ_ε^2 , $\varepsilon_h(t) = C_\varepsilon \sin(\omega_\varepsilon t)$ – is a harmonic component of the influencing quantity.

Output signal of measuring transducer $y(t)$ in the presence of a multiplicative error due to the influencing factor $\varepsilon(t)$, can be described as:

$$y(t) = x(t) + ax(t)\varepsilon(t),$$

where a – is a coefficient of influence.

The final expression for the square of the multiplicative additional error for the case of exposure to the transmitter and statistically dependent influencing influences will be:

$$M\left\{\Delta_{add}^2(t)\right\} = \sum_{i=1}^n a_i^2 \left[\begin{array}{l} \mu_x^2 \mu_{\varepsilon_i}^2 + \mu_x^2 \sigma_{\varepsilon_i}^2 + \mu_{\varepsilon_i}^2 \sigma_x^2 + \sigma_x^2 \sigma_{\varepsilon_i}^2 \times \\ \times (1 + 2\rho_{x\varepsilon_i})^2 + 4\mu_x \mu_{\varepsilon_i} \sigma_x \sigma_{\varepsilon_i} \rho_{x\varepsilon_i} \end{array} \right] + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{\substack{j=i+1 \\ j \neq i}}^n a_i a_j \left[\begin{array}{l} (\mu_x^2 + \sigma_x^2) (\mu_{\varepsilon_i} \mu_{\varepsilon_j} + \sigma_{\varepsilon_i} \sigma_{\varepsilon_j} \rho_{\varepsilon_i \varepsilon_j}) + \\ + 2\mu_x \sigma_x (\mu_{\varepsilon_i} \sigma_{\varepsilon_j} \rho_{x\varepsilon_j} + \mu_{\varepsilon_j} \sigma_{\varepsilon_i} \rho_{x\varepsilon_i}) + \\ + \sigma_x (\sigma_{\varepsilon_i}^2 \sigma_{\varepsilon_j} \rho_{x\varepsilon_j} + \sigma_{\varepsilon_j}^2 \sigma_{\varepsilon_i} \rho_{x\varepsilon_i}) \end{array} \right].$$

Thus, using stochastic models of measuring signals and influencing quantities, it is possible to evaluate the additional error of measuring transducers of technical systems, taking into account the presence of statistical relationships between signals.

STOCHASTIC MODEL OF THE TOTAL DYNAMIC AND ADDITIONAL ERRORS OF TECHNICAL MEASURING SYSTEMS

Yu.A. Lipnin, V.G. Mazur, M.V. Piltsov, A.D. Poudalov

AnSTU, Angarsk, Russia
systems-ntfs@mail.ru

Quite often, in the calculations of the additional errors of the measuring technical systems, it is assumed that the paths of the measured signal and the influencing quantity are inertialess, or at least their characteristics and frequency spectrum are such that distortions in the shape of these signals can be neglected. In practice, this is a fairly common case, and the practical usefulness of the calculations made is beyond doubt. However, consideration of a number of types of devices and measurement methods shows that the inertia of the channels, namely the input signal or parameter of the influencing factor, should be taken into account.

If dynamic links are included in the channels of the input signal and the influencing quantities, then in addition to the additional signal, a dynamic error occurs in the signal at the device output [1, 2].

Schematic which shown in Fig.1 illustrates the effects of the measured (useful) signal, $x(t)$ and influencing quantity $\varepsilon(t)$ on the measuring system. In Fig. 1 using μ_0 the value of the influencing value taken during graduation is

indicated, $W_1(j\omega)$ and $W_2(j\omega)$ are used as dynamic links, respectively, in the channels of the input action and the influencing quantity, and $\Delta_\Sigma(t)$ shows the total dynamic and additional errors.

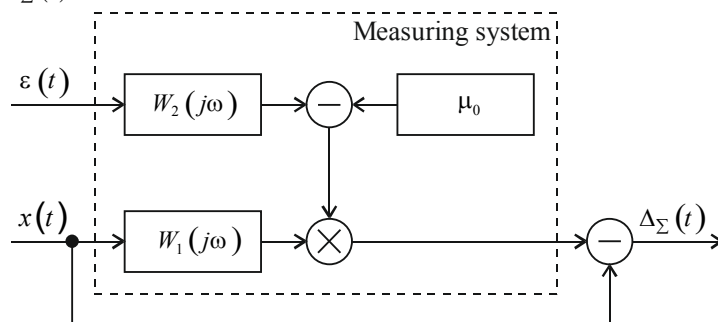


Fig. 1. A model for the appearance of dynamic and multiplicative additional errors when taking into account the dynamic properties of signal channels of input and influencing effects

Then the expected value (EV) of the total error will be of the form:

$$M\{\Delta_\Sigma^2(t)\} = M\{\Delta_{dyn}^2(t)\} + M\{\Delta_{add}^2(t)\} + M\{\Delta_\rho^2(t)\}. \quad (1)$$

The expression there are three components. The first defines the EV square of the dynamic error Δ_{dyn}^2 ; the second one determines the EV square of the additional error Δ_{add}^2 ; and the third is a member, indicating the EV presence of a correlation between the additional and dynamic errors.

The maximum increase in the total dynamic and additional errors, taking into account the correlation between these errors, can reach about 70 % at $\mu_\varepsilon \approx 0$ that is, when the EV of the influencing quantity is equal to the value adopted during the graduation of the measuring system.

The inertial links considered as examples are the simplest case, because characterize the measuring system as a linear system. Often, the type of transfer characteristics of dynamic links can significantly differ from the type of inertial link of the first order. Obtaining an analytical solution in this case is hardly advisable, therefore, the main method for solving the problem of analyzing the additional error.

Literature

1. *Kuznetsov B.F.* Stochastic models and methods of the analysis information – measuring systems of automatic control system technological process. Angarsk: Angarsk state technical academy, 2007. 180 p. (in Russian).
2. *Mazur V.G., Pudalov A.D.* Model of additional error of measuring transducers taking into account statistical bonding. 14th international scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2018) proceedings Novosibirsk, Proceedings: in 8 volumes. 2018. Vol. 1, Part 1. P. 273–276.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ

О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
kravhome@mail.ru

Интермодальные грузовые перевозки представляют собой альтернативу долгосрочным автомобильным перевозкам и отражают комбинацию двух или более видов транспорта (автомобильный, железнодорожный, водный) в пределах одной транспортной цепочки. Данному виду перевозок уделяется все больше внимания в транспортной экономике, поскольку они рассматриваются как способ повышения безопасности движения, уменьшения транспортных заторов на улично-дорожной сети [1, 2].

Для процесса планирования интермодальных перевозок, необходима модель, используемая при планировании на дальние расстояния, позволяющая выбрать тип транспортных средств при определённой пропускной способности для создания экономически эффективного потока грузов. Исследование заключается в тактическом планировании интермодальных перевозок, которые включают выбор видов транспорта, сопутствующих услуг и консолидацию грузопотоков. Масштабируемые функции стоимости для автомобильного и железнодорожного транспорта включены в модель для нахождения затрат на перегрузку и транспортировку.

Решение задачи планирования включает тестирование математической модели оптимизации на реальных данных, определение функций затрат, и оценку эффекта от консолидации грузов. Для моделирования потока ТУ на дугах железнодорожной сети (x_{od}) и консолидации грузов для услуг (y_{od} , Z_{od} , x_{od}^L), определяем переменные x_{ij} для потока ТУ дугах улично-дорожной сети (i, j) $\in A$. С этими переменными решение формулируется как смешанная целевая функция, которая (1) минимизирует общую стоимость транспортировки [3]:

$$\begin{aligned} \min \rightarrow Z = & \sum_{s \in S} \sum_{c \in C} x_{sc} \cdot d_{sc} \cdot c^D + \sum_{s \in S} \sum_{o \in O} x_{so} \cdot d_{so} \cdot c^{pr} + \sum_{d \in D} \sum_{c \in C} x_{dc} \cdot d_{dc} \cdot c^{po} + \\ & + \sum_{o \in O} \sum_{d \in D} (y_{od} + Z_{od}) \cdot d_{od} \cdot \tilde{c}^F + \sum_{o \in O} \sum_{d \in D} x_{od}^L \cdot d_{od} \cdot c^L \end{aligned} \quad (1)$$

где S – множество клиентов; C – множество производственных площадок; O – множество терминалов в зоне отправления; D – множество терминалов в зоне назначения; x_{od}^L – поток ТУ на дуге железнодорожной сети (o, d) $\in B$; B – набор дуг железнодорожного транспорта, $B = O \times D$; y_{od} – количество поездов на железной дороге дуги (o, d) $\in B$; $Z_{od}=1$, если поезд загружен для объема выше своей грузоподъемности и ниже точки безубыточности на дуге железнодорожного пути (o, d) $\in B$; c^D – тарифная ставка; c^{pr} – предоплата; c^{po} – затраты на отправку; \tilde{c}^F – стоимость пути за километр в железнодорожной сети; c^L – стоимость в случае $c^L \geq \tilde{c}^F$; d_{ij} – расстояние между узлами $i \in N$ и $j \in N$; N – множество узлов; x_{ij} – поток ТУ на дуге (i, j) $\in A \cup B$.

Процесс интермодальных перевозок может включать в себя транспортировку железнодорожным транспортом от терминалов в зоне отправления до терминалов в зоне назначения. Если сеть содержит несколько терминалов в одной или обеих из этих областей, и если железнодорожные перевозки возможны между терминалами, расположенными в одной и той же области, требуется многоступенчатая консолидация, а также железнодорожные операции по перевозке.

Для адекватной работы модели необходимо ввести ряд ограничений относительно объема доставки грузов; отправки грузов с производственных площадок на терминал в зоне назначения; об удовлетворении потребительского спроса; консолидации груза на железнодорожных путях; требуемого количества поездов [4,5]. Переменные принимают целочисленные значения при условии, что объемы производства, требования клиентов и параметры пропускной способности поездов являются целыми числами. В результате, можно сделать вывод, что модель является обобщением классической транспортной задачи.

Литература

1. *Лебедева О.А.* Выбор маршрута передвижения в системе метрополитена // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 3. С. 76–82.
2. *Lebedeva O.* Increasing effectiveness of the transportation network by using the automation of a voronoi diagram // Transportation Research Procedia. 2018. P. 427–433.
3. *Janic, Milan* (2008): An Assessment of the Performance of the European Long Intermodal Freight Trains (LIFTS) // Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 42 (10). P. 1326–1339.
4. *Dantzig G.B., Mukund N.T.* Linear Programming 1: Introduction. New York: Springer, 1997.
5. *Forkenbrock D.J.* Comparison of External Costs of Rail and Truck Freight Transportation // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2001. Vol. 35 (4). P. 321–337.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПО МАРШРУТУ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Ю.О. Полтавская, О.А. Лебедева

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
juliapoltavskaya@mail.ru

Продолжительность движения играет важную роль при выборе маршрута следования в транспортной сети, а для диспетчерского управления помогает планировать, контролировать и управлять движением на городских улицах [1–3]. Фиксация времени движения производится через регулярные промежутки времени с помощью бортового оборудования. Полученные данные о местоположении и продолжительности движения по маршруту передаются в центр управления движением в режиме реального времени. Они обеспечивают повышение точности оценки условий движения по маршрутам с учетом влияния характеристик улично-дорожной сети (УДС).

С целью установления влияния характеристик УДС на продолжительность движения были проанализированы городские маршруты следования общественного транспорта [4, 5]. Рассматривалось влияние основных характеристик УДС, таких как количество регулируемых и нерегулируемых перекрестков, пересечений с трамвайными путями, остановочных пунктов на маршруте, полос движения, поворотов, совершаемых общественным транспортом, и интенсивность движения. Данные получены с ГЛОНАСС/GPS-оборудования индивидуального и общественного транспорта.

Установлены линейные регрессионные модели на основе соотношения продолжительностей движения между легковым автомобилем и общественным транспортом в качестве зависимой переменной, а независимые переменные – корреляционные факторы. Модели для исследуемых периодов – пиковый и межпиковый – приведены в формулах (1) и (2) соответственно:

$$TT_c = TT_b(1,3 - 0,15 \cdot SI - 0,25 \cdot TV - 0,0032 \cdot N_l), R^2 = 0,68, \quad (1)$$

$$TT_c = TT_b(1,0 - 0,12 \cdot N_l), R^2 = 0,51, \quad (2)$$

где TT_c – продолжительность движения индивидуального транспорта; TT_b – продолжительность движения общественного транспорта; SI – количество регулируемых перекрестков; TV – интенсивность движения; N_l – количество полос движения.

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод, что за исключением количества регулируемых пересечений, количества полос и интенсивности движения, другие рассматриваемые характеристики, не оказывают существенного влияния на продолжительность движения. Количество полос движения играет статистически значимую роль во всех рассматриваемых периодах; в то время как количество регулируемых перекрестков на один километр и интенсивность движения, оказывают статистически значимое влияние в течение пикового периода.

Полученные результаты показывают, что данные с бортового оборудования подвижного состава общественного транспорта могут использоваться для моделирования продолжительности движения по маршруту с учетом характеристик сети.

Литература

1. Михайлов А.Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2004. № 2. С. 50–53.
2. Ping Z., Zhiheng L., Meng L. Real-time Arterial Performance Measurement Using BRT Probe Data and Signal Timing Data // Journal of Transportation System Engineering and Information Technology. 2012. Vol. 12 (3). P. 24–30.
3. Крипак М.Н., Лебедева О.А. Оценка состояния улично-дорожной сети крупного города // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 171–174.
4. Полтавская Ю.О. Прогнозирование характеристик маршрута городского общественного пассажирского транспорта на основе данных треков автомобиля-лаборатории // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21, № 2 (121). С. 190–198.
5. Hall R.W., Yuas N. Buses as a Traffic Probe: Demonstration Project // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2000. № 1731. P. 96–103.

АНАЛИЗ В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ G-СЕТИ С ОБХОДАМИ СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ЗАЯВКАМИ

Д.Я. Копать, М.А. Маталыцкий

ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь
dk80395@mail.ru, m.matalytski@gmail.com

Проведено исследование открытой экспоненциальной сети массового обслуживания (СМО) с однолинейными системами массового обслуживания (СМО). СМО характеризуются наличием обходов, положительных заявками и возможностью поступления в них отрицательных заявок. В сеть поступают два независимых простейших потока заявок. Первый поток образуется из обычных (положительных) заявок, второй – из отрицательных заявок, поступление каждой из которых в систему уничтожает в ней ровно одну положительную заявку в очереди, если таковые в ней имеются. Отрицательные заявки не требуют обслуживания, обслуживание положительных заявок в системах сети осуществляется в соответствии с дисциплиной FIFO. Положительные заявки с зависящей от состояния узла вероятностью при направлении в нее присоединяются к очереди, а с дополнительной вероятностью мгновенно обходят ее и ведут себя в дальнейшем как обслуженные. Для решения системы разностно-дифференциальных уравнений (РДУ) для нестационарных вероятностей состояний сети, функционирующей в режиме насыщения, предложено использовать метод многомерных производящих функций.

Обозначим через $\Psi_n(z, t) = \sum_{k_1=0}^{\infty} \sum_{k_2=0}^{\infty} \dots \sum_{k_n=0}^{\infty} P(k_1, k_2, \dots, k_n, t) z_1^{k_1} z_2^{k_2} \dots z_n^{k_n}$, где $(\vec{k}, t) = (k_1, k_2, \dots, k_n, t)$ –

состояние сети в момент времени t , k_i – число положительных заявок в i -й СМО, $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, $|z| < 1$, n -мерную производящую функцию. Для неё получено выражение в виде многократного ряда. Вероятность $P(k_1, k_2, \dots, k_n, t)$ находится как коэффициент при $z_1^{k_1} z_2^{k_2} \dots z_n^{k_n}$ в разложении данной функции в многократный ряд.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ФУНКЦИИ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ О СРЕДНЕМ И ДИСПЕРСИИ ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА

Ю.Г. Дмитриев, Г.М. Кошкин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru

При расчете надежности и прогнозировании отказов в качестве характеристики работоспособности невосстанавливаемых элементов часто используют функцию надежности $S(t) = 1 - F(t)$, где $F(t)$ – функция распределения времени отказа T исследуемого элемента. Функция $S(t)$ выражает вероятность безотказной работы невосстанавливаемого элемента до момента времени t .

Предположим, что известны функционалы

$$b_j = b_j(F) = \int_0^{\infty} \psi_j(t) dF(t), \quad j = 1, 2,$$

которые определяют среднее и дисперсию времени безотказной работы элемента соответственно при $\psi_1(t) = t$, $\psi_2(t) = (t - b_1)^2$. Пусть также имеется статистическая информация в виде независимых наблюдений за однородной группой из n элементов и фиксацией моментов их отказов T_1, \dots, T_n , $T_i \in [0, \infty)$.

В работе по выборке T_1, \dots, T_n строится непараметрическая оценка функции надежности с учетом дополнительной информации о среднем и дисперсии времени безотказной работы исследуемого элемента. В качестве оценки функции надежности $S(t)$ с учетом такой дополнительной информации возьмем (см. [1])

$$\hat{S}(t, \lambda_1, \lambda_2) = \hat{S}(t) - \lambda_1(\bar{t} - b_1) - \lambda_2(\sigma_n^2 - b_2),$$

где $\hat{S}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c(T_i - t)$ – эмпирическая оценка функции выживания, $c(u) = \{1 : u \geq 0, 0 : u < 0\}$, $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ –

оценка среднего $b_1 = \int_0^{\infty} t dF(t)$, $\sigma_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - b_1)^2$ – оценка дисперсии $b_2 = \int_0^{\infty} (t - b_1)^2 dF(t)$. Оптимальные параметры λ_1^0 и λ_2^0 находятся из минимума главной части среднеквадратической ошибки (СКО) оценки $\hat{S}(t, \lambda_1, \lambda_2)$. Показывается, что СКО оптимальной оценки $\hat{S}(t, \lambda_1^0, \lambda_2^0)$ меньше СКО оценки $\hat{S}(t)$. Также предложены адаптивные оценки, в которых оптимальные параметры λ_1^0 и λ_2^0 оценивались также по выборке T_1, \dots, T_n . Находятся предельные распределения полученных оценок, что позволяет построить интервальные оценки функции надежности.

Заметим, что, заменив в предложенных оценках эмпирические оценки функций выживания их гладкими аналогами (ср. [2,3]), можно получить гладкие модификации оценок функции выживания.

Литература

1. *Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M.* Nonparametric estimators of probability characteristics using unbiased prior conditions // *Statistical Papers*. 2018. Vol. 59, № 4. P. 1559–1575.
2. *Кошкин Г.М.* Гладкое оценивание функций надежности невосстанавливаемых элементов // *Изв. вузов. Физика*. 2014. Т. 57, № 5. С. 96–103.
3. *Koshkin G.M.* Smooth recurrent estimators of the reliability functions // *Russian Physics Journal*. 2015. Vol. 58, № 7. P. 1018–1025.

ФИЛЬТРАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ СО СКАЧКООБРАЗНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ*

К.С. Ким, В.И. Смагин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
E-mail kks93@rambler.ru, vsm@mail.tsu.ru

Идентификация состояния скачкообразно изменяющегося параметра по косвенным наблюдениям является актуальной и может быть использована для повышения надежности систем управления и систем обработки информации [1–5]. В настоящей работе рассмотрена задача оценки состояния Марковской цепи, входящей в описание линейной стохастической системы, а также рассмотрена задача оценивания вектора состояния этой системы. Для решения задачи используются алгоритмы рекуррентной фильтрации для стохастических систем с неизвестным входом [6, 7].

Пусть модель объекта описывается стохастическим разностным уравнением:

$$x(k+1) = A_{\gamma(k)}x(k) + B_{\gamma(k)}u(k) + q_{\gamma(k)}(k), \quad x(0) = x_0,$$

где $x(k) \in \mathbb{R}^n$ – вектор состояния, x_0 – начальные условия, $A_{\gamma(k)}, B_{\gamma(k)}$ – заданные матрицы; $\gamma = \gamma(k)$ – скачкообразно изменяющийся параметр (Марковская цепь с n состояниями $\gamma_1, \dots, \gamma_n$, предполагается, что вероятности переходов цепи $p_{i,j}$ известны); $u(k) \in \mathbb{R}^m$ – известный вход; $q_{\gamma(k)}(k)$ – случайные возмущения со следующими характеристиками: $M\{q_{\gamma(k)}(k)\} = 0$, $M\{q_{\gamma(k)}(k)q_{\gamma(k)}^T(j) | \gamma(\xi) = \gamma(k), k \leq \xi \leq j\} = Q_{\gamma(k)}\delta_{kj}$.

Требуется по косвенным наблюдениям $y(k) = S_{\gamma(k)}x(k) + v_{\gamma(k)}(k)$, ($v_{\gamma(k)}(k)$ – случайные ошибки наблюдений, независимые от $q_{\gamma(k)}(k)$, с характеристиками: $M\{v_{\gamma(k)}(k)\} = 0$, $M\{v_{\gamma(k)}(k)v_{\gamma(k)}^T(j) | \gamma(\xi) = \gamma(k), k \leq \xi \leq j\} = V_{\gamma(k)}\delta_{kj}$) определить оценку скачкообразного параметра $\gamma(k)$ и найти соответствующую оценку вектора состояния $x(k)$.

При ошибках идентификации в случае, когда параметр $\gamma = \gamma(k)$ находится в i -ом состоянии ($\gamma = \gamma_i$), а это состояние идентифицировано ошибочно как j -ое ($j \neq i$), уравнение (1) может быть представлено в виде модели с неизвестным входом:

$$x(k+1) = A_jx(k) + B_ju(k) + r^{(i,j)}(k) + q_j(k), \\ x(0) = x_0,$$

где $r^{(i,j)}(k) = (A_i - A_j)x(k) + (B_i - B_j)u(k) + q_i(k) - q_j(k)$ – неизвестный вход. Здесь обозначено $A_{\gamma=\gamma_i} = A_i$, $B_{\gamma=\gamma_i} = B_i$.

Для построения оценок будем использовать рекуррентный оценщик по структуре совпадающий с фильтром Калмана $\hat{x}(k+1) = A_j\hat{x}(k) + B_ju(k) + \hat{r}_j(k) + K_j(k)[y(k+1) - S_j(A_j\hat{x}(k) + B_ju(k))]$.

Алгоритм идентификации параметра $\gamma(k)$ использует оценки неизвестного входа $\hat{r}_j(k)$, построенные на основе оптимизации дополнительных критериев [6, 7], и оценки вектора $\hat{r}^{(i,j)}(k) = (A_i - A_j)\hat{x}(k) + (B_i - B_j)u(k)$, зависящей от оценки вектора состояния $\hat{x}(k)$ и истинного значения параметра $\gamma = i$ ($i = \overline{1, n}$). Идентификация состояния $\gamma(k)$ осуществляется посредством вычисления нормы $\|\hat{r}_j(k) - \hat{r}^{(i,j)}(k)\|$ для всех $i = \overline{1, n}$. Далее определяется значение i , для которого сглаженные значения этой нормы минимальны. Этот номер и даст оценку скачкообразного параметра γ_i .

Литература

1. Chang C.B., Athans M. State estimation for discrete systems with switching parameters // IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems. 1978. Vol. 14/3. P. 418–424.
2. Costa O.L.V., Fragoso M.D., and Marques R.P. Discrete-time markovian jump linear systems. New York: Springer-Verlag, 2005. 286 p.
3. Tugnait J. Adaptive estimation and identification for discrete systems with Markov jump parameters // IEEE Trans. on Automatic Control. 1982. Vol. 27/5. P. 1054–1065.
4. Zhong M., Ding Q., Shi P. Parity space-based fault detection for markovian jump systems // Int. J. of Systems Science. 2009. Vol. 40/4. P. 421–428.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-31-90080.

5. Li Y., Karimi H.R., Zhao D. and etc. H-infinity fault detection filter design for discrete-time nonlinear Markovian jump systems with missing measurements // European J. of Control. 2018. Vol. 44/SI. P. 27–39.
6. Смагин В.И. Оценивание состояний линейных дискретных систем при неизвестном входе с использованием компенсаций // Изв. вузов Физика. 2014. Т. 57, № 5. С.104–110.
7. Smagin V.I., Koshkin G.M. Kalman filtering and control algorithms for systems with unknown disturbances and parameters using nonparametric technique // Proceedings of the 20th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2015). Miedzydroje. Poland, 2015. P. 247–251.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

А.З. Фам, С.А. Сенотова

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
phamng725@gmail.com, sveta-senotova@mail.ru

Маловодный период на Байкале, по оценкам ученых, длится уже несколько десятилетий. В 2015 году в связи с низким уровнем воды в Байкале был введен режим ЧС, тогда в зоне риска оказались жители города Ангарск Иркутской области. Низкий уровень воды в Байкале отрицательно сказался и в Бурятии. Представители республики указывали на то, что это неблагоприятно для воспроизводства омуля и других видов рыб, а также для водоснабжения прибрежных населенных пунктов на восточном побережье озера. Байкал с 1960-х годов является частью системы Иркутской ГЭС, поэтому минимальный и максимальный уровни воды в озере устанавливаются государством [1].

Правительство РФ в постановлении «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018–2020 годах» от 27 декабря 2017 года № 1667 установило максимальный и минимальный уровни воды в Байкале, что, как предполагается, поможет избежать повторения чрезвычайных ситуаций, связанных с уменьшением уровня воды в озере. Максимальное и минимальное значения уровня воды в озере Байкал в период средней водности устанавливаются на отметках 457 и 456 м соответственно, минимальное значение в период малой водности – на отметке 455,54 м, максимальное значение в период большой водности – на отметке 457,85 м.

Согласно данным сайта allrivers.info [2] уровень воды в поселке Байкал в течение 2019 года был ниже 456 м, что соответствует периоду малой водности.

Для прогнозирования уровня воды был выбран подход авторегрессионного анализа экспериментальных данных по методу Бокса и Дженкинса [3].

Непрерывные данные, которые собраны для получения информации о динамике уровня воды в Байкале, образуют ряд, содержащий 122 значения.

По результатам расчетов был сделан вывод, что исследуемый процесс является процессом авторегрессии первого порядка. При вводе нового уровня воды модель перестраивается. Построенная модель используется для прогнозирования будущих значений временного ряда по его текущим и прошлым значениям.

Для проверки модели на адекватность экспериментальный ряд, состоящий из 122 значений, разбивается на две последовательности: обучающую и контролирующую. Обучающая последовательность состоит из 100 значений, контролирующая – из 22 значений. Затем вычисляется среднее значение ошибки, дисперсия и среднее квадратическое отклонение (σ).

Проверка показала, что ошибка не отклоняется от математического ожидания по абсолютной величине больше, чем на 3σ . Это дает основание считать модель авторегрессии 1-го порядка адекватной реальным данным.

Приложение, реализованное с помощью языка программирования C#, позволяет делать прогноз на следующий период (третий день) с помощью метода Бокса и Дженкинса, вводить действительный результат уровня воды в озере, выводить график функции уровня воды в озере Байкал и графики для сравнения спрогнозированных значений с реальными.

В ходе работы были решены следующие задачи:

- проведен анализ предметной области;
- изучен метод Бокса и Дженкинса;
- построена модель временного ряда;
- проверена модель на адекватность;
- спроектировано приложение на языке C# для прогнозирования уровня воды в озере Байкал.

Литература

1. Кабмин утвердил предельные значения уровня воды в Байкале в 2018–2020 годах. URL: <https://tass.ru/obschestvo/4852919>. (Дата обращения 28.12.19 г.)

2. Уровень воды в Байкале. URL: <https://allrivers.info/gauge/baykal> (дата обращения: 28.12.2019).
 3. Дж. Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление / пер. с англ.; под ред. В.Ф. Писаренко. М.: Мир, 1974. Кн. 1. 406 с.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ КИСЛОРОДА

О.Л. Свердлова, Л.М. Кондратьева, С.В. Иванова

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
 kondrateva_lm@mail.ru

Практика моделирования процессов, происходящих на границе раздела фаз газ-твердое тело, показывает, что попытка приближения модели к реальному процессу является основополагающей в выборе микроскопических стохастических моделей. Применение подобных моделей дает возможность проводить регистрацию процессов на поверхности с очень высоким пространственным разрешением (на уровне нескольких межатомных расстояний) и прогнозировать поведение отдельных атомов или группы атомов.

Построенная стохастическая модель процесса адсорбции кислорода на поверхности моносульфида железа (FeS) включает в себя математическое описание процесса адсорбции кислорода, алгоритм расчета скорости процесса и программный комплекс расчета параметров процесса.

Реакция адсорбции кислорода на поверхности твердого тела (кристалла) является многостадийным процессом. Механизм окисления FeS проходит в соответствии с теорией мономолекулярной адсорбции Ленгмюра и моделью решеточного газа, центры адсорбции которого расположены в узлах идеальной квадратной решетки, и состоит из мономолекулярной адсорбции – десорбции O_2 ; диссоциации O_2 на адатомы; взаимодействия адсорбированных адатомов кислорода между собой или поверхностью кристалла; миграции адсорбированных адатомов кислорода вдоль поверхности кристалла.

Реакция хемосорбции всегда сопровождается перестройкой поверхностного слоя, индуцированного адсорбцией O_2 . При условии, что заполнение адсорбционной поверхности кислородом достаточно высокое, то в первом приближении перестройку поверхностного слоя кристалла можно не учитывать. В связи с этим построенная модель описывает динамику системы в терминах плоскостного покрытия поверхности адатомами кислорода [1].

Реакция рассматривается как случайный марковский процесс с дискретным множеством состояний для потока элементарных событий, проходящих на фрагменте $Q(M, N)$ идеальной квадратной решетки моносульфида железа, содержащем $L = M \cdot N$ узлов, с периодическими граничными условиями. Состояние фрагмента решетки $S(t)$ в момент времени t определяется совокупностью чисел заполнения $s_i(t)$ всех его узлов ($i = \overline{1, L}$). Каждое состояние $s_i(t)$ принимает одно из значений:

$$s_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{— если узел } i \text{ пуст,} \\ 1 & \text{— если узел } i \text{ занят адатомом.} \end{cases} \quad (1)$$

Неоднородность поверхности при адсорбции кислорода учитывается с помощью зависимости внутренних параметров модели от пространственных переменных

$$K_\alpha = K_\alpha(S), \quad E_\alpha = E_\alpha(S), \quad (2)$$

где α – номер стадии, $\alpha = \overline{1, N_{act}}$.

Рассматриваемый дискретный марковский процесс подчиняется основному кинетическому (управляющему) уравнению:

$$\frac{dP(S, t)}{dt} = \sum_{S^*} (V(S^* \rightarrow S) \cdot P(S^*, t) - V(S \rightarrow S^*) \cdot P(S, t)), \quad S \in \{S\}, \quad (3)$$

где $\{S\}$ – множество всевозможных состояний фрагмента $\Omega_{sqr}(M, N)$ решетки; $P(S, t)$ – вероятность реализации состояния S в момент времени t ; S^* – новое состояние, которое может быть получено из S в результате осуществления одного из элементарных актов; $V(S \rightarrow S^*)$ – частоты переходов, вычисляемые по формулам расчета скорости элементарных актов [2].

Полученную модель можно оценить как использование стохастического подхода для расширения возможности описания нелинейной динамики взаимодействия в системе газ-твердое тело.

Литература

1. Свердлова О.Л., Добрынина Н.Н. Математическое моделирование затухания автоколебаний адсорбции кислорода на неоднородной поверхности адсорбента с использованием стохастического подхода // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 4. С. 88–91.

2. Еленин Г.Г., Семедьяева Н.Л. Стохастическое моделирование реакции в неидеальном слое адсорбата на поверхности катализатора. Влияние подвижности адсорбата на скорость элементарных стадий // Математическое моделирование. 1993. Т. 5, № 2. С. 42–53.

IMPROVED SIGNAL PROCESSING OBSERVED WITH SEMI-MARKOV NOISES

E.A. Pchelintsev, S.S. Perelevskiy, M.A. Povzun

Tomsk State University, Tomsk, Russia
evgen-pch@yandex.ru

We consider the estimation problem for the 1-periodic signal $S(t)$ on the basis of observations $(y_t)_{0 \leq t \leq n}$ given by the stochastic differential equation

$$dy_t = S(t)dt + d\xi_t, \quad 0 \leq t \leq n, \quad (1)$$

where n is the duration of observation and the noise process $(\xi_t)_{0 \leq t \leq n}$ is defined as

$$\xi_t = \sigma_1 w_t + \sigma_2 L_t + \sigma_3 z_t. \quad (2)$$

Here σ_1 , σ_2 and σ_3 are unknown coefficients, $(w_t)_{t \geq 0}$ is the standard Brownian motion, $(L_t)_{t \geq 0}$ is a jump Lévy process and the pure jump process $(z_t)_{t \geq 0}$ is assumed to be a semi-Markov process (see, for example, [1]). Such noise processes allow us to consider continuous time regression models with dependent observations for which the dependence does not disappear for a sufficient large duration of observations. We can study the problem of the signals processing observed under long impulse noise impact with a memory or in the presence of “against signals”.

The main goal is to develop a new improved adaptive robust efficient signal estimation method for the model (1)–(2). We assume that the noise process distribution Q is unknown and belongs to the class \mathcal{Q}_n^* defined as a family of all distributions for which the parameters $\sigma_1 \geq \zeta_*$, and $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 \leq \zeta^*$, where ζ_* and ζ^* are some fixed positive bounds. The quality of an estimate \hat{S}_n of the unknown signal S will be measured with the robust quadratic risk $\mathcal{R}^*(\hat{S}_n, S) = \sup_{Q \in \mathcal{Q}_n^*} \mathcal{R}_Q(\hat{S}_n, S)$, $\mathcal{R}_Q(\hat{S}_n, S) := \mathbf{E}_{Q,S} \|\hat{S}_n - S\|^2$, $\|S\|^2 = \int_0^1 S^2(t)dt$, where $\mathbf{E}_{Q,S}$ is the expectation with respect to the distribution $\mathbf{P}_{Q,S}$ of the process in the Equation (1) with a fixed distribution Q of the noise $(\xi_t)_{0 \leq t \leq n}$ and a given function S . For estimating the unknown signal S in [1] the authors proposed the model selection procedure \hat{S}_n based on the weighted least squares estimates. In this work we construct the adaptive model selection procedures S_n^* , based on the shrinkage weighted least squares estimates of the form (10) from [2]. The comparison between shrinkage and least squares methods is studied and the advantages of the shrinkage methods are analyzed. Sharp oracle inequalities for the robust risks have been obtained. The robust efficiency of the model selection procedure has been established.

Literature

1. Barbu V.S., Beltaief S., Pergamenschikov S.M. Robust adaptive efficient estimation for semi-Markov nonparametric regression models // Statistical Inference for Stochastic Processes. 2019. Vol. 22, № 2. P. 187-231.
2. Pchelintsev E.A., Pergamenschikov S.M., Marcokova M. Adaptive robust efficient methods for periodic signal processing observed with colours noises // Advances in Electrical and Electronic Engineering. 2019. Vol. 17, № 3. P. 270-274.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Б.С. Добронетц, О.А. Попова

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

В статье рассматривается новый подход к обработке данных, основанный на применении вычислительного вероятностного анализа [1]. Представлено его использование для функциональных временных рядов (ФВР). В настоящее время для изучения таких данных используется функциональный анализ данных (ФАД) (Functional Data Analysis), который представляет новое направление в теории анализа данных,

представленных в виде функций, изображений или более общих объектов. Термин FDA был придуман Ramsay и Dalzell [2].

Функциональные временные ряды состоят из случайной выборки вещественных функций $f_i(x)$, на компактном интервале D вещественной прямой R . Эти вещественные функции можно рассматривать как реализации некоторого стохастического процесса, который часто предполагается в гильбертовом пространстве, например в пространстве L_2 . С появлением больших наборов данных (Big Data) существует острая необходимость в разработке новых статистических подходов. Символьный анализ данных, проведенный L. Billard и E. Diday [3], дает новые методики исследования в этом направлении.

Предлагаемый нами подход основан на технологиях Big Data, включая процедуры агрегации данных для входных параметров, и использовании вычислительного вероятностного анализа (BVA) [1,5]. Переход к более обобщенному представлению с помощью агрегирования необходим по нескольким причинам. Во-первых, агрегация существенным образом может снизить объем данных. Во-вторых, детализированные данные часто оказываются очень изменчивыми из-за воздействия различных случайных факторов, разброса значений и, поэтому слабо отражают общие тенденции и свойства исследуемого множества. Агрегация в этом случае позволяет увидеть имеющиеся тенденции и закономерности.

С точки зрения функционального временного ряда можно выделить гистограммы временные ряды (Histogram-Valued Time Series) как совокупность гистограмм, упорядоченных по времени [3, 5]. Развивая этот подход, можно говорить о временных рядах распределений [1, 4–6]. В работе для построения прогноза временных рядов распределений предложены новые численные операции над кусочно-полиномиальными функциями распределений. Рассмотрено применение экстраполяции Ричардсона для повышения точности построения кусочно-полиномиальных функций распределений [8].

В качестве численных примеров рассмотрены временные ряды функций плотности вероятности распределений температуры. Использовались данные температуры в г. Красноярске за последние сто лет. Данные агрегировались как по годам, так и по дням. Например, строились функции плотности вероятности данных температуры за некоторый год или данные температуры в некоторый день за последние сто лет. Для аппроксимаций функций плотности вероятности использовались эрмитовы сплайны пятой степени.

Численное моделирование функциональных временных рядов показало хорошую сходимость предложенного подхода. Использование вычислительного вероятностного анализа с использованием кусочно-полиномиальных моделей открывает новые возможности в прогнозировании состояний сложных систем, дистанционного зондирования Земли, оценок надежности ответственного оборудования, оценки гидрологических, инвестиционных рисков [6–8].

Литература

1. *Добронец Б.С., Попова О.А.* Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019.
2. *Ramsay J.O., Silverman B.W.* Functional Data Analysis. 2nd ed. New York: Springer, 2005.
3. *Billard L., Diday E.* Symbolic Data Analysis: Conceptual Statistics and Data Mining. West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons, 2006.
4. *Добронец Б.С., Попова О.А.* Вычислительные аспекты цифровой экономики // Теория активных систем – 50 лет: материалы международной научно-практической конференции, 18–19 ноября 2019 г. / под общ. ред. В.Н. Буркова. М.: ИПУ РАН, 2019. С. 399–413.
5. *Добронец Б.С., Попова О.А.* Численный вероятностный анализ неопределённых данных. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2014. 168 с.
6. *Попова О.А.* Функциональный анализ данных для изучения данных дистанционного зондирования земли // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы VI Международной научной конференции. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2019. С. 137–140.
7. *Попова О.А.* Достоверные оценки характеристик надежности оборудования // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. С. 111–117.
8. *Popova O.A.* Using Richardson Extrapolation to Improve the Accuracy of Processing and Analyzing Empirical Data // Measurement Techniques. 2019. Vol. 62, № 2. DOI 10.1007/s11018-019-01594-1.

DIFFUSION APPROXIMATION AS A TOOL IN PERFORMANCE EVALUATION OF MODERN COMPUTER NETWORKS ARCHITECTURES

T. Czachórski

Institute of Theoretical and Applied Informatics Polish Academy of Sciences, Gliwice, Poland
tadek@iitis.pl

Performance of computer networks is frequently investigated with the use of queueing theory. Its models represent the queues of packets waiting in routers to be sent further and evaluate queueing delays, loss probabilities in

routers and then the overall transmission quality of service. There is a constant effort to develop models reflecting as exactly as possible the stochastic nature of the transmission intensity, its variability, the distribution of the size of packets, and the rules of traffic management applied by protocols to avoid network congestion. The article makes a synthesis of one of the modelling approaches: diffusion approximation where the size of queues is described by a diffusion process. The method was introduced in 1970-ties by Hisashi Kobayashi and Erol Gelenbe [1] and is still being developed by the author, especially in case of transient analysis proposed by the author [2] to fit various models of Internet, Internet of Things, Software Defined Networks, Cloud and Fog computing, edge computing, etc., e.g.[3][4]. The method is based on the solution of a system of differential partial equations giving an approximation of the queue lengths distribution at any considered time. The features that are in favour of the method are:

- diffusion model of a single server assumes general interarrival and service time distributions this way going beyond Markov models;

- network models may have any topology, also hierarchical, and any number of nodes (are easy scalable);

- the results are obtained in form of queue distributions and waiting time distributions that makes easier to analyse QoS of paths, e.g. jitter;

- easy separation of each node within a network model;

- the transient state model is solved step-by-step in small time intervals with parameters specific to these intervals; any decision of a controller concerning dynamic routing of packets, as well as changes of flows due to attacks and control mechanisms may be easily reflected in time-dependent and state-dependent diffusion parameters;

- the self-similarity of flows may be reflected in a similar way;

- time-dependend routing probabilities in equations determining the flows inside a network and solved at each step may represent load balancing or decisions having in mind energy saving.

These features are presented on examples taken from real life problems. A novel model of a network of G/G/c/c+K stations with arbitrary topology, transient and steady state version is presented. In case of multiple server channels the diffusion parameters are state dependent. In this case we solve diffusion equations simultaneously in intervals wit fixed parameters together with balance equations for density probabilities of going the process from one interval to another. The solutions are obtained in Laplace domain and then inverted numerically.

Literature

1. Gelenbe E. On Approximate Computer Systems Models // J. ACM. 1975. № 2.
2. Czachórski T. A method to solve diffusion equation with instantaneous return processes acting as boundary conditions // Bulletin of Polish Academy of Sciences, Technical Sciences. 1993. № 4. P. 1993.
3. Czachórski T. Queuing Models for Performance evaluation of Computer Networks-Transient State Analysis / V.V. Mityushev and M. Ruzhansky (eds.) // Analytic Methods in Interdisciplinary Applications, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 116. Springer, 2015.
4. Suila G., Anyam E., Czachórski T., Rataj A. Performance of a buffer between electronic and all-optical networks, diffusion approximation model // 32nd International Symposium on Computer and Information Sciences In Conjunction with the IFIP World Congress 2018, Poznań, Communications in Computer and Information Science. Springer, 2018. Vol. 935.

ЗАДАЧИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ВСЕПРОНИКАЮЩЕЙ НАЗЕМНО-ВОЗДУШНОЙ СЕТИ 6G

Ю.В. Гайдамака^{1, 3}, Е.А. Кучерявый², К.Е. Самуйлов^{1, 3}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

² Университет Тампере, Тампере, Финляндия

³ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия
gaydamaka-yuv@gudn.ru, evgeny.kucheryavy@tuni.fi, samuylov-ke@gudn.ru

С момента разработки стандартов 4G LTE в 2010 году исследовательские сообщества как в академических научных кругах, так и в индустрии проводили анализ для прогнозирования вариантов использования и сценариев 2020-х гг., для определения технических требований и разработки соответствующих технологий, протоколов и сетевых архитектур в направлении стандартизации беспроводной сети следующего поколения (5G, 5-th Generation). Эта исследовательская фаза завершается, так как в настоящее время практически закончены стандарты и ожидается, что беспроводные сети 5G будут развернуты во всем мире в течение начала 2020-х гг. Настало время предварительных исследований, за которыми последует техническая подготовка к созданию беспроводных сетей следующего поколения (предположительное название – 6G) на период до 2030-х гг. Такие исследования уже проводятся и их результаты публикуются научным сообществом [1, 2].

Одной из отправных точек в обсуждении поколения 6G является анализ недостатков сетей 5G, подлежащих развертыванию. Сети 5G обещают обеспечить связь для широкого спектра вариантов использования в различных отраслях, причем многие из предполагаемых вариантов требуют сложных целевых значений для одного или нескольких ключевых показателей качества обслуживания QoS, таких как высокая

скорость, высокая надежность, низкая задержка и высокая энергоэффективность. Тем не менее, фундаментальные принципы беспроводной связи показывают, что предоставление повсеместного «суперсоединения» в глобальном масштабе в плотно насыщенных беспроводными устройствами зонах – практически невозможно на базе очевидно устаревшей архитектуры наземной сети, так как для этого потребуется чрезмерно дорогое покрытие. Эта проблема только усугубится еще более сложными сценариями использования 6G, такими как высокочастотная сеть на беспилотных аппаратах БПЛА.

В докладе дается краткий обзор исследований, направленных на построение вероятностных моделей, предназначенных для анализа архитектуры сетей последующих поколений 2030-х годов. При построении таких моделей используются методы стохастической геометрии [3] и теория ресурсных систем массового обслуживания [4]. Исследователи считают, что мы находимся на пороге новой эры как фундаментальных исследований, так и инноваций в области интегрированных и всепроникающих наземно-воздушных беспроводных сетей.

Литература

1. Huang T., Yang W., Wu J., Ma J., Zhang X., Zhang D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies // IEEE Access. 2019. № 7. P. 175758–175768.
2. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture & Requirements // Proc. 10th Int. Congr. Ultra Modern Telecommun. Control Syst. Workshops (ICUMT). Moscow, 2018. P. 1–8.
3. Enayati S., Saeedi H., Pishro-Nik H., Yanikomeroğlu H. Moving aerial base station networks: Stochastic geometry analysis and design perspective // IEEE Trans. Wireless Communications. 2019. № 18:3. P. 2977–2988.
4. Горбунова А.В., Наумов В.А., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е. Ресурсные системы массового обслуживания как модели беспроводных систем связи // Информ. и её примен. 2018. № 12:3. С. 48–55.

УПРАВЛЕНИЕ ПОСТАВКАМИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ РЕКЛАМЫ

Г.Н. Решетникова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tomrgn@ngs.ru

Применение цифровых технологий может повысить эффективность любой экономической системы, прежде всего за счет возможности своевременно реагировать на изменение рыночной ситуации для принятия управленческих решений. На рынке товаров и услуг одной из основных задач является управление поставками. Для получения планируемого дохода предприниматель использует рекламу, которая позволяет увеличить потребительский интерес к товару при управлении поведением потенциального покупателя с целью совершения покупки.

Пусть $G(t)$ – функция, которая принимает дискретные значения и задает затраты на рекламу, τ – момент оплаты, $\tau + \mu$ – момент появления рекламы, T – время действия рекламы на потребителя, δ – параметр, определяющий интенсивность воздействия рекламы. Значения μ, T, δ являются константами и соответствуют конкретной рекламе, определяемой величиной $G(t)$. Функция, описывающая действие рекламы на потребителя, задается в виде [1]:

$$f(t, G(t), \delta) = \begin{cases} 0, & t \in [\tau, \tau + \mu), \\ a_0 t^2 + a_1 t + a_2, & t \in [\tau + \mu, \tau + \mu + T], \end{cases}$$

$$a_0 = -\frac{4\delta}{T^2}, \quad a_1 = -\frac{G(t)}{T} + \frac{4\delta}{T^2}(2(\tau + \mu) + T), \quad a_2 = \frac{G(t)}{T}(\tau + \mu + T) - \frac{4\delta}{T^2}(\tau + \mu)(\tau + \mu + T).$$

Математическая модель управления поставками и рекламой описывается системой линейных стохастических дифференциальных уравнений

$$\dot{x}(t) = \bar{A}(t)x(t) + \bar{B}(t)u(t) + \bar{F}(t)q(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad (1)$$

где $x(t)$ – вектор состояния, определяющий объемы товара на складе торговой фирмы, у потребителя и доход, $u(t)$ – вектор управления, задающий объемы поставок и затрат на рекламу.

Формирование объемов поставок и затрат на рекламу осуществляется на основе минимизации математического ожидания локального квадратичного критерия при слежении за величиной планируемого дохода $w_z(t_k)$ [2]:

$$J^{(S)}(k) = M \left\{ (Sx(k+1) - w_z(t_k))^T C^{(S)} (Sx(k+1) - w_z(t_k)) + u(k)^T Du(k) \right\}$$

где вектор-строка $S = (0 \ 0 \ 1)$, $C^{(S)}$ – положительный весовой коэффициент, D – положительно определенная весовая матрица второго порядка. Так как информация о состоянии экономического процесса чаще всего бывает неполной и содержит погрешности и, кроме того, в математической модели есть неизвестные параметры, то строятся оценки $\hat{x}(k), \hat{\theta}(k)$ состояния и параметров модели [2]. Тогда

$$u(k) = -(\hat{B}^T(k)S^T C^{(S)}S\hat{B}(k) + D)^{-1} \hat{B}^T(k)S^T C^{(S)}(S\hat{A}(k)\hat{x}(k) + SF(k)\bar{q}(k) - w_z(k)),$$

где $\hat{A}(k), \hat{B}(k)$ матрицы дискретной системы для (1), в которых вместо точного значения параметров применяются их оценки. При этом используются ограничения вектора состояния и для объемов поставок и затрат на рекламу.

Литература

1. Решетникова Г.Н. Влияние рекламы при управлении поставками // 11 Международная конференция «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур», Екатеринбург, 6–10 июня 2016. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. С. 105–106.
2. Решетникова Г.Н. Адаптивное управление поставками и рекламой. Алгоритмы. Модели. Ограничения. Saarbrücken (Germany) LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & GO.KG, 2012. 152 с.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В МНОГОМЕРНЫХ ГАУССОВСКИХ СИСТЕМАХ*

А.А. Сурина¹, А.Н. Тырсин^{1, 2}

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
dallila87@mail.ru, at2001@yandex.ru

При решении задачи управления риском необходимо опираться на модель риска. Обычно моделирование риска сводится к выделению опасных исходов, количественному заданию последствий от их наступления и оцениванию вероятностей этих исходов. Однако для многих сложных систем выделить все эти опасные исходы не представляется возможным. Одним из возможных решений этой проблемы может быть подход к моделированию многомерного риска, предложенный в [1].

Модель многомерного риска для гауссовских стохастических систем описана в [2]. В этом случае числовыми характеристиками являются ковариационная матрица $\Sigma = \{\sigma_{ij}\}_{m \times m}$ и вектор математических ожиданий $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T$ случайного вектора гауссовского случайного вектора $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$.

Управление риском в гауссовской системе описано более подробно в работе [3]. При этом рассматривается одна из предложенных задач – достижение приемлемого уровня риска r^* при минимальных изменениях числовых характеристик Σ и \mathbf{a} гауссовской системы \mathbf{X}_0 :

$$\begin{cases} f(\mathbf{a}, \Sigma) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m (\sigma_{jk} - \sigma_{jk}^0)^2 + \sum_{i=1}^m (a_i - a_i^0)^2 \rightarrow \min_{\mathbf{a}, \Sigma}, \\ r(\mathbf{X}) \geq r^*, \Sigma \in G_{\Sigma}, \mathbf{a} \in H_{\mathbf{a}}. \end{cases} \quad (1)$$

Задача (1) представляет собой оптимизационную задачу нелинейного программирования со стохастическим ограничением по риску. В качестве управляющих переменных в (1) используются числовые характеристики случайного вектора \mathbf{X} .

Для произвольных прикладных задач пока что не разработаны методы, позволяющие эффективно находить их решение, что в первую очередь обусловлено направленностью методов нелинейного программирования на решение определенных классов задач оптимизации. При этом реальные задачи отличаются и по размерности, и по природе возникновения самой задачи. Могут возникать сложности как с нахождением аналитических выражений при большем переменных, так и с самой целевой функцией, которая может оказаться, к примеру разрывной или невыпуклой. Изложить алгоритмы, позволяющие решить данную задачу наиболее эффективным методом, и учитывающие особенности задачи.

Одной из таких особенностей является стохастическое ограничение на требуемый уровень риска $r_{\text{цел}} \geq r^*(\Sigma, \mathbf{a})$. Вторая особенность – это невыпуклость области допустимых решений. Еще одной особенностью является рост числа управляющих переменных в задаче достижения приемлемого уровня риска r^* при минимальных изменениях числовых характеристик Σ и \mathbf{a} гауссовской системы с квадратичной скоростью $m(m+3)/2$. В совокупности эти особенности ограничивают возможности использования стандартных алгоритмов решения оптимизационных задач. Описание алгоритма управления риском, исследование его работоспособности и точности более подробно дано в работе [3]. Однако кроме исследования

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 20-41-660008 p_a.

работоспособности алгоритма и его точности необходимо также провести сравнительный анализ методов нулевого, первого и второго порядков для безусловной минимизации.

Как упоминалось выше задача (1) достижения приемлемого (или требуемого) уровня риска r^* является оптимизационной задачей с ограничениями и решается с помощью метода штрафных функций. Однако для решения задачи безусловной минимизации была предложена модификация метода Нелдера-Мида, и как следствие возникает вопрос применимости других методов для решения задачи без ограничений. В силу невыпуклости множества допустимых решений, был проведен сравнительный анализ методов нулевого, первого и второго порядков. Из методов нулевого порядка были выбраны предложенная модификация метода Нелдера-Мида, метод случайного поиска и метод Хука-Дживса; из методов первого порядка – метод градиентного спуска с постоянным шагом; из методов второго порядка – метод Ньютона.

Необходимо также упомянуть, что ни один из методов нулевого порядка в «чистом» виде не может быть использован для решения задачи (1) в связи с наличием стохастического ограничения на риск. Поэтому каждый метод подвергается адаптации и модификации (как в случае с методом Нелдера-Мида).

Литература

1. *Тырсин А.Н.* О моделировании риска в системах критичных инфраструктур // Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур: Материалы международной конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 205–208. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/33468/1/safety_2015.pdf.
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.
3. *Surina A.A., Tyrsin A.N.* Risk Management in Gaussian Stochastic Systems as a Optimization Problem // I. Bykadorov et al. (eds.): MOTOR 2019. 2019. CCIS 1090. P. 562–577. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33394-2_43

STOCHASTIC SIMULATION OF SELF-ASSEMBLY FORMATION OF CDS NANOCRYSTALS SYNTHESIZED BY THE LANGMUIR-BLODGETT METHOD*

K.A. Svit¹, S.E. Kireev², K.K. Sabelfeld²

¹ Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

svit@isp.nsc.ru, kireev@ssd.sccc.ru, sabelfeld.karl@yahoo.de

We present a stochastic simulation model for self-assembly formation of cadmium sulfide (CdS) nanocrystal arrays synthesized by the Langmuir-Blodgett method (e.g., see [1]) under matrix evaporation and possible liquid condensation. In the model we implemented, a coarse-grained Hamiltonian can be mainly expressed in terms of two binary variables, L_i , and N_i , for the liquid and crystal densities [2]. The process is simulated by an asynchronous cellular automaton (ACA) [3]. The nucleation and growth process is simulated on a surface represented by a rectangular cellular array of size $N_x \times N_y$. The boundary conditions are periodic. The states of the cells are N (nanocrystal), L (liquid), and E (empty surface). Each nanocrystal occupies a group of 4×4 cells and moves as a whole. Transition rules of ACA describe the simulated processes which include diffusion, liquid evaporation and condensation.

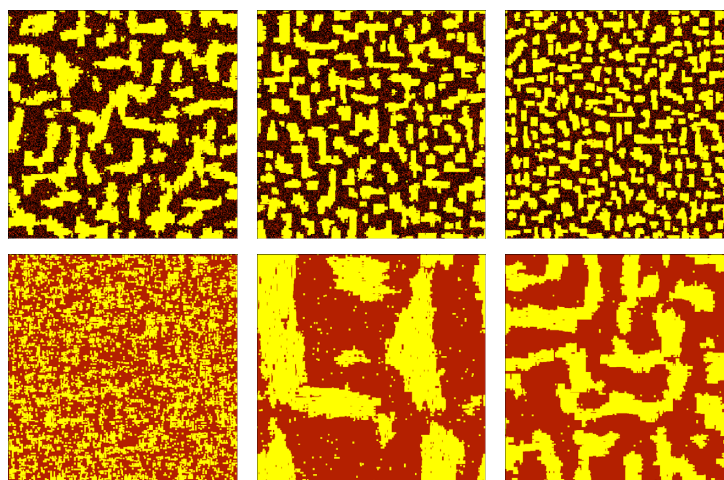


Fig. 1. Simulation results for $k_B T = 1.0$, $\epsilon_l = 1.0$, $\epsilon_{nl} = 1.2$, $\epsilon_n = 3.0$ (left), $\epsilon_n = 3.8$ (center), $\epsilon_n = 4.6$ (right), with (upper) and without (lower) evaporation and condensation

* Support of the Russian Science Foundation under Grant 19-11-00019 is gratefully acknowledged.

The simulation process is carried out as a sequence of iterations, each iteration being a sequence of $N_x \times N_y$ steps. At each step, one cell is randomly selected. For the selected cell, an action is randomly selected depending on its state: swap with a neighboring cell in a randomly selected direction ($N \leftrightarrow L$, $L \leftrightarrow E$), evaporation ($L \rightarrow E$), or condensation ($E \rightarrow L$). The probabilities of evaporation and condensation are model parameters defined by the experiment conditions. If the selected action is sampled, then it is performed with Metropolis probability, $p = \min [1, \exp(-\Delta H/k_B T)]$, k_B is Boltzmann's constant, ΔH is the resulting change in energy of the system, where ΔH calculation is based on the change in local neighborhood of the cell, taking into account the attraction forces between neighboring nanocrystals (ϵ_n), neighboring cells with liquid (ϵ_l), and a neighboring nanocrystal and a cell with liquid (ϵ_{nl}), which are input parameters of the model. We present the results of simulation of the whole process in its time evolution, and search for a set of input parameters generating the model which produces patterns similar to that obtained in the experiments. For illustration we show a set of simulated patterns with and without evaporation and condensation, see Fig. 1.

Literature

1. *Svit K.A., Zhuravlev K.S.* Self-assembly processes of arrays of CdS nanocrystals obtained by Langmuir-Blodgett technique // *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*. 2019. Vol. 53 (11). P. 1573–1578. (in Russian)
2. *Rabani E., Reichman D., Geissler P. et al.* Drying-mediated self-assembly of nanoparticles // *Nature*. 2003. Vol. 426. P. 271–274. doi:10.1038/nature02087
3. *Bandman O.L.* Mapping physical phenomena onto CA-models // *AUTOMATA-2008 / Adamatzky A., AlonsoSanz R., Lawniczak A., Martinez G.J., Morita K., Worsch T. (eds.) // Theory and Applications of Cellular Automata*. Luniver Press, UK, 2008. P. 381–397.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В МЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ СОТЫ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ ВЫЗОВОВ И СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ, ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ*

О.С. Дудина^{1,2}, А.Н. Дудин^{1,2}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

² Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
dudina@bsu.by

Современные протоколы передачи мультимедийной информации мобильных пользователей сотовых сетей связи допускают динамическое изменение используемой схемы модуляции и, как следствие, существенное изменение скорости передачи информации в зависимости от местонахождения пользователя в соте, в частности, от текущего расстояния пользователя до базовой станции или наличия естественных или искусственных препятствий для распространения радиосигнала. Довольно общая математическая модель функционирования такой соты была рассмотрена в работе [1].

В этой модели предполагается, что сота состоит из нескольких зон. Процесс генерации запросов пользователей задается неоднородным маркированным марковским потоком (ММАР), в котором тип запроса определяется номером зоны, в которую поступает пользователь. Число N пользователей, которые могут получать обслуживание в соте одновременно, конечно. Генерация запроса от нового пользователя в момент, когда в соте уже находятся N пользователей, приводит к потере этого нового запроса. Время обслуживания пользователя, находящегося в фиксированной зоне, имеет показательное распределение с интенсивностью, зависящей от номера зоны. Однако во время обслуживания с фиксированной интенсивностью запрос может также переместиться в другую зону или прекратить обслуживание из-за его неудовлетворительного качества или перехода в другую соту сети.

Работа соты была описана в [1] в терминах N -линейной системы массового обслуживания без входного буфера, ММАР входным потоком и механизмом обслуживания и перемещения запросов, кратко описанным выше. В свою очередь, динамика состояний этой системы обслуживания описана многомерной цепью Маркова с непрерывным временем и специальной блочной структурой генератора. Реализована эффективная и численно устойчивая процедура нахождения стационарного распределения вероятностей состояний этой цепи при реалистических (не очень малых) значениях N и основные характеристики производительности соты выражены через эти вероятности. Численно проиллюстрирована зависимость основных характеристик соты от параметра N и возможность оптимизации выбора этого параметра.

В данном докладе математическая модель соты, рассмотренная в [1], обобщена на ситуацию, когда параметры соты не являются постоянными, а могут изменять свои значения случайным образом. Такая ситуация является реалистичной в реальных сотовых сетях, поскольку интенсивность генерации запросов в

* Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

различных зонах соты и динамика их перемещения между сотами могут существенно изменяться в течение времени суток или под воздействием внешних случайных факторов, так же, как и распределение имеющихся ресурсов сети между сотами и зонами. При этом рассматриваемая в данном докладе модель системы обслуживания получается из модели в [1] путем «погружения» ее в так называемую случайную среду, динамика которой моделируется цепью Маркова с непрерывным временем, конечным пространством состояний и известным генератором. Проведен алгоритмический и численный анализ рассмотренной цепи Маркова и модели соты.

Литература

1. *Dudin S., Kim Chesoon* Analysis of Multi-Server Queue With Spatial Generation of Customers and Service Rate Depending on Customers' Location as a Model of Cell Operation // IEEE Transactions on Communications. 2017. Vol. 65, № 10. P. 4325–4333.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРОВ, РАСХОДУЮЩИХ АККУМУЛИРОВАННУЮ ЭНЕРГИЮ НА ПОЛУЧЕНИЕ И ПЕРЕДАЧУ ИНФОРМАЦИИ*

А.Н. Дудин^{1, 2}, С.А. Дудин^{1, 2}

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
dudin-alexander@mail.ru

Беспроводные сенсорные сети состоят из множества сенсоров – небольших устройств, содержащих различные датчики для контроля внешней среды, микрокомпьютер и радиопередатчик. Сенсоры самостоятельно могут проводить измерения, осуществлять начальную обработку данных и поддерживать связь между собой и внешней информационной системой. Так как сенсоры являются беспроводными элементами, их питание осуществляется от аккумуляторов, которые необходимо подзаряжать. Современные сенсоры имеют возможность подзарядки аккумулятора за счет энергии, получаемой из окружающей среды (англ. energy harvesting), что значительно повышает их автономность. Однако поступление энергии из окружающей среды не постоянно и ограничено, в связи с чем возникают задачи выработки оптимальных стратегий расходования энергии, решать которые можно с помощью теории массового обслуживания. Для ссылок и обзора применения теории массового обслуживания к моделированию беспроводных сенсорных сетей с получением энергии из внешней среды, смотри, например, статьи [1–3].

В абсолютном большинстве работ предполагается, что аккумулированная энергия расходуется только на передачу информации. В данной работе рассматривается более сложная модель, в которой считается, что энергия расходуется не только на передачу информации, но и на ее получение, а также текущий мониторинг.

Рассматривается система массового обслуживания с конечным и бесконечным буфером. Бесконечный буфер предназначен для хранения информации, которую необходимо передать. В конечном буфере хранятся единицы аккумулированной энергии. Поступление единиц энергии и пакетов информации (запросов) моделируется с помощью маркированного марковского входного потока. Считается, что на прием единицы информации тратится одна единица энергии. В случае отсутствия энергии в буфере в момент поступления запроса, запрос теряется. Запросы, находящиеся в буфере, являются нетерпеливыми, то есть покидают систему через экспоненциально распределенные интервалы времени, независимо от других запросов в буфере. На передачу единицы информации (обслуживание одного запроса) также тратится единица энергии. Время обслуживания имеет распределение фазового типа. В случае, когда обслуживание запроса оканчивается, в буфере есть запросы, но энергия отсутствует, передача информации блокируется до момента поступления единицы энергии. В случае, когда в системе нет запросов для обслуживания, энергия тратится на поддержание сенсора в активном состоянии. Другими словами, в таком случае единицы энергии покидают буфер через экспоненциально распределенные интервалы времени.

Поведение системы описывается пятимерной цепью Маркова с непрерывным временем и счетным пространством состояний. Построен генератор данной цепи в виде блочно-трехдиагональной матрицы. Показано, что если запросы в буфере являются нетерпеливыми, то цепь является эргодичной при любых значениях параметров системы. Найдено стационарное распределение состояний системы. Получены формулы для вычисления основных характеристик производительности системы.

Литература

2. *Patil K., De Turck K., Fiems D.* Optimal data collection in wireless sensor networks with correlated energy harvesting // Annals of Telecommunications. 2019. Vol. 74. P. 299–310.

* Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и ГПНИ РБ «Информатика и космос», проект 1.4.05.

3. Kim C., Dudin S., Dudin A., Samouylov K. Multi-threshold control by a single-server queuing model with a service rate depending on the amount of harvested energy // Performance Evaluation. 2018. Vol. 127–128. P. 1–20.
4. Gelenbe E. Synchronising Energy Harvesting and Data Packets in a Wireless Sensor // Energies. 2015. Vol. 8, № 1. P. 356–369.

СИСТЕМА ОБСЛУЖИВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ЗАПРОСОВ СО СПРАВЕДЛИВЫМ НАЗНАЧЕНИЕМ ПРИОРИТЕТОВ*

С.А. Дудин^{1,2}, О.С. Дудина^{1,2}

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
dudin85@mail.ru

Запросы, обслуживаемые во многих реальных системах, являются неоднородными и имеющими различную ценность для системы. Запросам, имеющим большую ценность, обычно предоставляется некоторый приоритет, действующий, например, при принятии запроса в систему или при определении типа следующего запроса, принимающегося на обслуживание в очередной момент окончания обслуживания. Мы здесь будем рассматривать только относительный приоритет, проявляющийся только при определении типа следующего запроса, принимающегося на обслуживание, а не и в момент поступления запроса, что свойственно системам с абсолютным приоритетом.

Существенным недостатком классического относительного приоритета является некоторая его негибкость и некоторая несправедливость по отношению к низкоприоритетным запросам. Низкоприоритетный запрос может иметь непропорционально большее время ожидания, чем высокоприоритетный. Такая ситуация является неприемлемой во многих реальных системах, особенно, когда обслуживание предоставляется людям, например, в медицинских учреждениях. Поэтому существует уже значительное количество работ, в которых рассматриваются различные дисциплины назначения приоритетов, предусматривающие возможность изменения приоритета запроса со временем его пребывания в системе. Например, приоритеты имеющихся в системе запросов различных типов линейно возрастают с различными скоростями при росте времени, в результате чего в очередной момент окончания обслуживания на прибор может принятаться запрос, изначально имевший низкий приоритет, но прождавший долгое время в очереди. Другим перспективным механизмом для более гибкого назначения приоритетов является включение таймера случайной длительности в момент прихода каждого низкоприоритетного запроса и последующий перевод этого запроса в разряд высокоприоритетных после истечения времени, установленном на таймере.

В данной работе предлагается и анализируется еще одна разновидность механизма для более гибкого назначения относительных приоритетов. Имеется однолинейная система с фазовым распределением времени обслуживания. Поток поступающих запросов двух типов описывается маркированным марковским (ММАР) входным потоком. Для принятия и хранения запросов каждого из типов имеется свой первичный буфер конечной емкости. Одним из предусмотренных механизмов предоставления приоритета является выбор соотношения емкостей первичных буферов. Буфер для запросов более низкого приоритета имеет меньшую емкость, и эти запросы могут иметь большую вероятность вообще не попасть на последующее обслуживание в системе. Во время пребывания запросов в этих первичных буферах эти запросы являются нетерпеливыми и могут досрочно покинуть систему. После экспоненциально распределенного времени с параметром, зависящим от номера первичного буфера, запрос переходит в основной буфер бесконечной емкости. Запросы, попавшие в основной буфер, становятся равноправными. Во время пребывания в этом буфере запросы также являются нетерпеливыми и покидают систему, не дождавшись обслуживания, после экспоненциально распределенного периода ожидания. Правильный выбор интенсивностей распределения времени пребывания в первичных буферах является еще одним способом гибкого предоставления приоритета одному из типов запросов. Приоритетные запросы имеют запросы большую интенсивность перехода в основной буфер и проводят меньшее время, дожидаясь обслуживания, в первичном буфере.

Поведение системы описывается пятимерной цепью Маркова с непрерывным временем и счетным пространством состояний. Построен инфинитесимальный генератор данной цепи в виде блочно-трехдиагональной матрицы. Показано, что эта цепь принадлежит классу асимптотически квазитеплицевых цепей, и она является эргодичной при любых значениях параметров системы. Найдено стационарное распределение вероятностей состояний цепи и системы. Получены формулы для вычисления основных характеристик производительности системы. Проведено численное исследование системы и анализ влияния различных параметров системы на итоговую степень приоритетности запросов различных типов.

* Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100»

РАЗЛОЖИМОСТЬ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА В ТОЧКЕ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А.Е. Липин

УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт математики и механики им. Н.Н.Красовского УрО РАН,
Екатеринбург, Россия
tony.lipin@yandex.ru

В 1983 году Е.Г. Пыткеев ввел следующее определение [1].

Пусть κ – произвольный кардинал. Топологическое пространство X называется *-разложимым в точке* $a \in X$, если существует разбиение X на κ множеств, зацепленных на точку a . Пространство X называется *разложимым в точке* a , если X 2-разложимо в a . Пространство X называется *максимально разложимым в точке* a , если X является $\Delta(a, X)$ -разложимым в a , где $\Delta(a, X) = \min\{|U|: a \in U, U \text{ – открыто}\}$ – *дисперсионный характер* пространства X в точке a .

Разложимость в точке есть локальный аналог понятия разложимости топологического пространства, введенного в 1943 году Хьюиттом [2].

Пыткеев выделил широкий класс пространств, максимально разложимых в каждой неизолированной точке. В частности, таковы все компактные пространства.

Вопрос, какие обобщения компактности влекут разложимость, \aleph_0 -разложимость или максимальную разложимость пространства в точке, в настоящий момент продолжает изучаться. Недавно была доказана разложимость в каждой неизолированной точке тихоновских псевдокомпактов [3]. Возникает естественный вопрос, являются ли тихоновские псевдокомпакты также 3-, \aleph_0 - или максимально разложимыми. Вопрос этот пока остается открытым, однако мы представляем следующее утверждение.

Теорема. Пусть существует тихоновский псевдокомпакт, не \aleph_0 -разложимый в некоторой неизолированной точке. Тогда существует измеримый кардинал.

Напомним, что существование измеримого кардинала недоказуемо в ZFC. Более того, средствами ZFC нельзя показать даже то, что существование такого кардинала не противоречит ZFC (в предположении, что ZFC сама по себе непротиворечива). Учитывая теорему выше, все то же самое теперь можно сказать и о тихоновском псевдокомпакте, не \aleph_0 -разложимом в некоторой неизолированной точке.

Еще одно топологическое свойство, связь которого с разложимостью и разложимостью в точке пока не выяснена полностью, это связность. Мы представляем следующее утверждение.

Теорема. Существует хаусдорфово связное пространство, неразложимое в точке. При этом дисперсионный характер такого пространства может быть сколь угодно большим.

Литература

1. *Пыткеев Е.Г.* О максимально разложимых пространствах // Труды Математического Института Имени В.А. Стеклова. 1983. № 154. С. 209–213.
2. *Hewitt E.* A problem in set-theoretic topology // Duke Math. 1943. № 10. С. 309–333.
3. *Lipin A.E.* Resolvability of Pseudocompact Spaces at a Point // Mathematical Analysis With Applications – In Honor of the 90th Birthday of Constantin Corduneanu. С. 251–256.

ПРЯМАЯ КОРРЕКЦИЯ ОШИБОК В ТРАНСПОРТНОМ ПРОТОКОЛЕ С ВНУТРИСЕГМЕНТНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

П.В. Приступа, С.П. Сущенко

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

В настоящее время предъявляются высокие требования к быстродействию компьютерных сетей. В протоколах с решающей обратной связью быстродействие в значительной степени зависит от наличия помех в канале связи [1], поскольку с ростом уровня помех растет количество повторных передач. Для снижения необходимости повторных передач применяется метод прямой коррекции ошибок на различных уровнях сетевой архитектуры, в том числе и на уровне транспортного протокола.

При организации помехоустойчивого кодирования для обеспечения работы механизма прямой коррекции ошибок возможно формировать избыточную информацию как на межсегментном, так и на внутрисегментном уровне. В последнем случае каждый сегмент разбивается на несколько информационных

фрагментов, к которым присоединяется один или несколько фрагментов с избыточной информацией, после чего все фрагменты вновь объединяются в сегмент. При этом размер нового сегмента увеличивается.

Известны результаты [2] для расчета пропускной способности $Z(W, S, F_f, F_r)$ транспортного соединения, функционирующего в режиме селективного или группового отказа, без использования механизма прямой коррекции ошибок, где W – размер скользящего окна, выраженный в количестве сегментов, S – тайм-аут ожидания подтверждения передачи, выраженный в количестве тактов длительности t , F_f и F_r – вероятности достоверной передачи одного сегмента в прямом и в обратном направлении, соответственно.

При использовании механизма прямой коррекции ошибок разбиение сегмента на фрагменты одинаковой длины осуществляется по следующей схеме: общее количество фрагментов в одном сегменте – B , количество информационных фрагментов – A . Пренебрегаем накладными расходами, возникающими в связи с необходимостью иметь контрольную сумму для каждого фрагмента, позволяющую выявить искажение. Полагая, что искажения различных фрагментов независимы, и вероятности искажения фрагментов, передающихся в прямом и в обратном направлении, равны f_f и f_r , соответственно, имеем следующее выражение для пропускной способности $Z_{FEC}(W, S, f_f, f_r, A, B)$:

$$Z_{FEC}(W, S, f_f, f_r, A, B) = \frac{A}{B} Z(W, S, \psi_f, \psi_r),$$

где $\psi_f = \sum_{i=A}^B C_B^i \times f_f^i \times (1 - f_f)^{B-i}$, $\psi_r = \sum_{i=A}^B C_B^i \times f_r^i \times (1 - f_r)^{B-i}$ – вероятности достоверной передачи сегмента в прямом и обратном направлении, соответственно, с учетом возможности восстановления сегмента получателем.

Таким образом область предпочтения механизма прямой коррекции ошибок выражается областью положительных значений функции выигрыша пропускной способности:

$$\Delta(W, S, f_f, f_r, A, B) = \frac{A}{B} Z(W, S, \psi_f, \psi_r) - Z(W, S, F_f, F_r), \text{ где } F_f = f_f^B, F_r = f_r^B.$$

Литература

1. *Сущенко С.П.* Математические модели компьютерных сетей. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 46–55.
2. *Kokshenev V.V., Mikheev P.A., Sushchenko S.P.* Comparative Analysis of the Performance of Selective and Group Repeat Transmission Modes in a Transport Protocol // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78, № 2. P. 247–261.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ПУАССОНОВСКАЯ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНО ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Г.Ш. Цициашвили

ИПМ ДВО РАН, Владивосток, Россия
guram@iam.dvo.ru

Расчет нестационарных моделей массового обслуживания обычно существенно сложнее, чем расчет стационарных моделей. Однако во многих системах повседневного обслуживания населения обычно приходится иметь дело именно с нестационарными системами. Поэтому необходимо так построить нестационарную модель обслуживания, чтобы ее расчет был бы достаточно простым и удобным для вычислений.

В настоящей работе это удастся достичь предположением детерминированности времени обслуживания и пуассоновости входного нестационарного потока заявок. Рассмотрим пуассоновскую модель системы обслуживания, в которой заявки образуют следующую модель пуассоновского потока. Каждая заявка находится в системе время α , после чего покидает систему. Моменты прихода заявок в систему образуют пуассоновский поток с интенсивностью $\lambda(t)$. Особенностью данной модели является ее нестационарность и возможность включения в нее группового поступления заявок с различными параметрами пуассоновского распределения их числа.

Тем самым данная модель адаптируется к условиям функционирования реальных систем обслуживания: непрерывно работающих бассейнов, катков на открытом воздухе, тренажерных залов, залов аэробики и фитнеса, лыжных баз. На языке теории массового обслуживания такая система может интерпретироваться как система с пуассоновским потоком заявок, имеющим меняющуюся интенсивность, бесконечным числом приборов и детерминированным временем обслуживания.

Здесь функция $\lambda(t)$ предполагается непрерывной при $0 \leq t \leq T - \alpha$,

$$\lambda(t) = 0, t < 0, T - \alpha \leq t \leq T.$$

В качестве примера такого потока моментов прихода в систему пользователей можно предположить, что это посетители непрерывно работающего бассейна, приходящие на свободное плавание. Тогда для фиксированного момента времени t , $0 \leq t \leq T$, число пользователей, пришедших в бассейн имеет пуассоновское распределение с параметром

$$\Lambda(t) = \int_{t-\alpha}^t \lambda(\tau) d\tau, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (1)$$

Однако помимо пользователей, приходящих в бассейн на свободное плавание, могут быть группы пользователей, приходящих в фиксированные моменты времени $0 \leq T_1 < T_2 < \dots < T_n \leq T - \alpha$, для занятий с тренером. Количество пользователей, приходящих в момент T_k , также имеет распределение Пуассона с параметром λ_k . Полагаем, что эти случайные величины независимы между собой и со случайным процессом, характеризующим процесс прихода пользователей с интенсивностью $\lambda(t)$, $0 \leq t \leq T$. Тогда число пользователей, находящихся в системе обслуживания в момент t , имеет пуассоновское распределение с параметром

$$\Lambda(t) = \int_{t-\alpha}^t \lambda(\tau) d\tau + \sum_{k: t-\alpha \leq T_k \leq t} \lambda_k, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (2)$$

Если обозначить $\delta(t)$ – дельта-функцию, то формула (2) может быть переписана в виде

$$\Lambda(t) = \int_{t-\alpha}^t (\lambda(\tau) + \sum_{k=1}^n \lambda_k \delta(\tau - T_k)) d\tau, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (3)$$

Данная нестационарная модель обслуживания может иметь многочисленные обобщения: многофазные системы и ациклические сети обслуживания, системы с несколькими потоками, имеющими различные детерминированные времена обслуживания и т.д. Она может также применяться к расчету конвейерных систем обработки деталей.

Секция 4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И BIG DATA

DEVELOPMENT OF A PROGRAM TO REDUCE THE DIMENTION OF MULTIDIMENSIONAL DATA ARRAYS BY THE METHOD OF PRINCIPAL COMPONENTS

E.A. Golovkova¹, N.M. Ermakova²

¹Angarsk State Technical Academy, Angarsk, Russia

²Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia
temnikova_ea@bk.ru

The application of the method of principal components allows, due to the analysis of correlation relationships and corresponding mathematical transformations, to significantly reduce the dimension of large arrays of multidimensional statistical data. Use it for analysis and identifying patterns of monitoring research results. To implement this method, you must calculate the average values and standard deviations σ_j , standardized values of the z_{ij} and the matrix of these Z values, to calculate the covariance, the correlation coefficients r_{jk} and the correlation matrix R . The number of rows in the matrix (n) depends on the number of statistical values, and the number of measured characteristics p is the number of variables and, therefore, the dimension of the attribute space.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad (1)$$

where x_{ij} is the original statistical data;

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}. \quad (3)$$

The correlation matrix is determined by the formula

$$R = \frac{Z - Z^T}{n-1}, \quad (4)$$

where Z^T is the transposed matrix of standardized values.

To reduce the complexity of calculations and the probability of errors in calculations, the authors developed a computer program using Visual Studio C ++ integrated development environment. The program allows reading data from an excel file, processing it using the algorithm described below. Then the program calculating the eigenvalues of the characteristic matrices (roots of the characteristic polynomial) and eigenvectors.

A number λ is called an eigenvalue of the matrix R if there is a nonzero vector x such that: $Rx = \lambda x$.

Search algorithm for eigenvalues and vectors of the characteristic matrix

1. We compose the characteristic polynomial of the matrix. To do this, subtract λ from the elements on the main diagonal of the original matrix and find its determinant.

2. The roots of the characteristic polynomial are the eigenvalues of the matrix R .

3. Now for each eigenvalue $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, we find the eigenvectors x_1, x_2, \dots, x_n . The algorithm for finding eigenvectors is to solve systems of linear equations of the form: $Rx_i = \lambda_i x_i$ for each i^{th} eigenvalue. Such a system of equations can be transformed to the form: $\text{Det}(R - \lambda_i E) = 0$.

After composing and solving such systems of linear equations for each eigenvalue λ_i , we find the set of all eigenvectors of the original matrix.

Собственные числа матрицы R	Число итераций
$\lambda_1 \approx 0,0254314168811445$	iter = 4
$\lambda_2 \approx 0,0567877550804034$	iter = 7
$\lambda_3 \approx 0,189981703032244$	iter = 5
$\lambda_4 \approx 0,236555226137204$	iter = 6
$\lambda_5 \approx 0,523189329950414$	iter = 6
$\lambda_6 \approx 0,650634021865969$	iter = 5
$\lambda_7 \approx 0,953282691980691$	iter = 4
$\lambda_8 \approx 1,19699472940912$	iter = 1
$\lambda_9 \approx 5,16714312566281$	iter = 1

Fig. 1. Program calculation result example

The sum of the squares of the components of the eigenvector must be equal to one. Then the value of the coefficient square for each component can be judged by its contribution to the value of the main component.

Literature

1. Zabuga G.A., Temnikova E.A., Efimova N.V., Grebenshchikova V.I. Automation of the calculation of the eigenvalues of the correlation matrix on the example of environmental assessment of the territory // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2017. № 1 (53). P. 104–110.
2. Davydenko A.U., Rush E.A. Application of the method of main components for studying the regularities of distribution of pollutants in water systems // ISTU Bulletin. 2004. № 2 (18). P. 56–63.
3. Zabuga G.A., Efimova N.V., Grebenshchikova V.I., Blashchinskaya O.N., Gorbunova O.V. Assessment of the ecological state of the urban area // Ecology of urbanized territories. 2016. № 2. P. 13–18.

APPLICATION OF LOCAL OUTLIER PROBABILITIES METHOD WITHIN VISUALIZATION SOFTWARE SYSTEM BASED ON ANDREWS CURVES FOR MULTIDIMENSIONAL OUTLIERS DETECTION

A.M. Shirykalov, O.V. Marukhina

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
ams28@tpu.ru

Outlier detection is an important step in data analysis process, which refers to recognition of anomalous or unusual data entries which need additional attention in processed data. Outlier detection is usually performed at the stage of a primary data analysis for detecting suspicious data points that could be removed or corrected during data cleanup but can also be applied at the further stages for novelty or anomalies detection.

The state-of-the-art outlier detection methods are primarily local and density-based meaning when calculating outlier score for a data point, only part of the dataset closest to that point is considered. Among these methods there is a method called “LoOP”, firstly described in [1], which stands for local outlier probabilities and applied to a dataset outputs probability of being an outlier in interval of [0, 1] for each data entry.

As described in [1], scores obtained using “LoOP” are easily interpretable and can be compared both over one data set and over different data sets, making it highly suitable for end-user applications.

In present paper application of “LoOP” method complemented by visualization with Andrews curves for outlier detection in visualization software system is described.

Visualization software system mentioned above is currently in development stage [3] and is primarily based on appliance of Andrews curves method for multidimensional data visualization. Andrews curves visualization method, firstly presented in [2], describes a way to represent multidimensional object on a plane using Fourier series. Set of obtained curves preserves important statistical properties of the data including mean, variance and distances between data entries, as described in [2].

In the software system, computed “LoOP” scores for each data entry are used to determine corresponding curve’s width and color, which is thicker and closer to red color for higher outlier probability. Software system’s user interface with plotted curves with outlier probabilities is present below in Fig. 1.

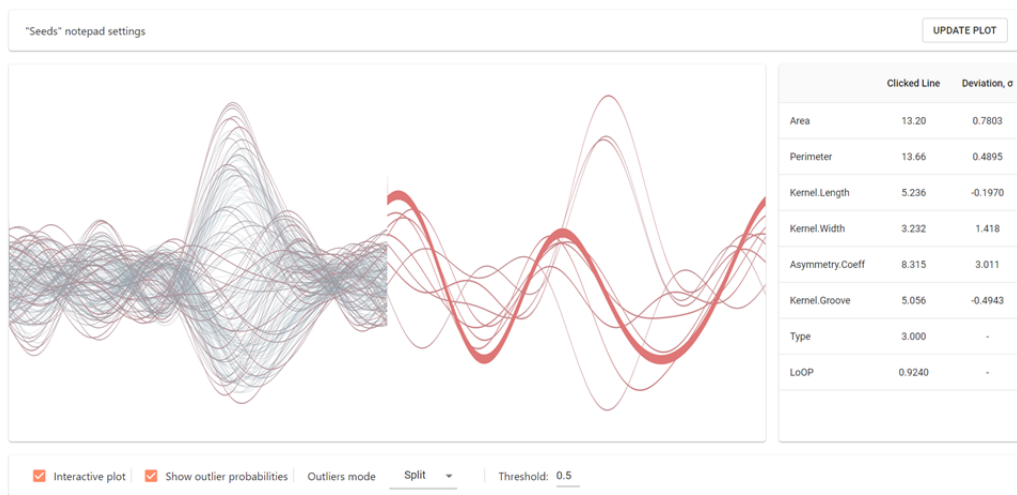


Fig. 1. Screen capture of plotted curves

The Figure 1 shows the system in so called “Split” outliers presentation mode, when curves with outlier probability score less than threshold, which is set by user, are plotted at the left and with higher score at the right part of the plot. The thickest line in the right part of the plot is selected by user by clicking on it and corresponding entry’s information is presented to the right of the plots.

Researcher, who is working with some dataset, can benefit from using proposed system outliers detection method because it makes it possible for him not only to know each of the entries outlier probability, but also to visually compare suspicious entry’s curve shape with shapes of the other entries’ curves, thus helping to make any decisions on it.

Literature

1. *Kriegel H.P., Kröger P., Schubert E., Zimek A.* LoOP: Local outlier probabilities // International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings. 2009. P. 1649–1652.
2. *Andrews D. F.* Plots of High-Dimensional Data // Biometrics. 1972. Vol. 28, № 1. P. 125–136.
3. *Shirykalov A.M., Marukhina O.V.* Razrabotka programnoi sistemy vizualizatsii mnogomernykh dannykh na osnove krivykh Endryusa [Development of multidimensional data visualization software system based on Andrews curves] // Nauka Tekhnologii Innovatsii = Science Technologies Innovations, Proceedings. Novosibirsk, 2019. P. 82–86.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Н.В. Буюкова¹, А.В. Крюков^{2,3}

¹ Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

² Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
bn_900@mail.ru

Под электромагнитной обстановкой понимается совокупность электромагнитных процессов в заданной области пространства [1]. Основными характеристиками этих процессов являются напряженности электрического и магнитного полей (ЭМП). Тяговые сети (ТС) железных дорог переменного тока могут создавать значительные ЭМП. В ряде случаев, особенно при прохождении трассы дороги по селитебной территории, уровни напряженности этих полей могут превосходить допустимые нормы [2].

В условиях электрифицированной железной дороги трудно получить экспериментальные данные, отвечающие максимальным уровням напряженности ЭМП, поэтому анализ электромагнитной обстановки в системах тягового электроснабжения (СТЭ), как на эксплуатируемых, так и на вновь создаваемых объектах рекомендуется выполнять на основе математического моделирования [3].

Система тягового электроснабжения магистральной железной дороги переменного тока представляет собой сложный нелинейный динамический объект. Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности для определения режимов СТЭ применяют имитационные методы. При этом используется концепция мгновенных схем и осуществляется редукция динамической модели СТЭ к набору статических схем. Для выполнения процедуры моделирования исследуемый интервал T_M разбивается на малые промежутки Δt , внутри которых параметры, характеризующие режим СТЭ, принимаются неизменными. Анализ измерений параметров режима в реальных СТЭ, а также результаты компьютерного моделирования показывают, что такое допущение является приемлемым и не вносит заметной погрешности в результаты расчетов.

Создание имитационной модели системы электроснабжения железнодорожной магистрали требует построения моделей элементов СТЭ с определением алгоритма их взаимодействия и включает следующие составные части:

- моделирование графика движения поездов;
- формирование мгновенных схем и расчет режима для каждой из них;
- определение интегральных показателей имитационного моделирования.

Наиболее эффективно задача расчета режимов СТЭ может быть решена на основе применения фазных координат. Основную трудность при описании СТЭ в фазных координатах создают статические многопроводные элементы (СМЭ) со взаимоиндуктивными связями, к которым относятся линии электропередачи и трансформаторы. В работе [4] предложен единый методологический подход к построению моделей СМЭ, реализуемых решетчатыми схемами замещения в виде наборов RLC-элементов, соединенных по схеме полного графа.

Разработанные в ИРГУПСе методы и средства моделирования синусоидальных режимов [4] в фазных координатах позволяют провести при определении режима электроэнергетической системы (ЭЭС) или СТЭ одновременные расчеты напряженностей ЭМП многопроводных линий электропередачи (ЛЭП). При этом анализируемая ЛЭП рассматривается в неразрывной связи со сложной ЭЭС или СТЭ. Одновременный расчет

режима многопроводной системы и создаваемых этой системой ЭМП позволяет реализовать новый, системный подход к анализу электромагнитной обстановки. Его отличительной особенностью является возможность моделирования ЭМП с учетом всех свойств и характеристик сложной СТЭ и питающей ЭЭС. Главное преимущество предлагаемого метода состоит в возможности имитационного моделирования движения поездов в анализируемой СТЭ и определения динамики изменения напряженностей ЭМП во времени.

Литература

1. ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. М., 1992.
2. Дополнение к МГСН 2.03-97. Системы нормативных документов в строительстве «Нормы (предельно допустимые уровни) магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях» (проект). М., 2003.
3. Аполлонский С.М., Богаринова А.Н. Напряженности воздушной среды на электрифицированной железной дороге // Сборник докладов девятой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. СПб., 2006. С. 579–583.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. 273 с.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ТРАНСЛЯЦИОННО-ЦИКЛИЧЕСКОГО ОБМЕНА СТАНДАРТА MPI*

Е.Н. Перышкова^{1, 2}, М.Г. Курносов^{1, 2}

¹ ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия

² СибГУТИ, Новосибирск, Россия
e.peryshkova@gmail.com

Основным механизмом взаимодействия процессов параллельных программ является передача сообщений по каналам связи (message passing). На протяжении последних 25 лет доминирующее положение среди средств разработки параллельных программ занимает стандарт MPI и библиотеки, реализующие его: MPICH, MVARICH, Intel MPI, Open MPI, Cray MPI, IBM MPI. Среди основных схем информационных обменов значительное место по частоте использования и приходящемуся на них суммарному времени выполнения занимают коллективные операции обмена информацией (collective communication) [1-2]. В них вовлечены все ветви параллельной программы. Основные виды коллективных операций, реализованных в стандарте MPI можно разделить на три группы: трансляционно-циклические обмены («каждый-всем», All-to-all Broadcast), трансляционные обмены («один-всем», One-to-all Broadcast) и коллекторные обмены («все-одному», All-to-one Reduce). Для реализации каждой коллективной операции, имеется множество алгоритмов, из которого необходимо выбрать оптимальный – обеспечивающий минимум времени выполнения операции. Эффективная реализация коллективных операций в значительной степени влияет на масштабируемость параллельных алгоритмов и программ [3]. Основная часть алгоритмов коллективных обменов реализуются на базе примитивов двусторонних обменов (send/rcv) и основана на ряде фиксированных методов: рассылка данных по кольцу (ring), рекурсивное удваивание сообщения (recursive doubling), рекурсивное деление сообщения пополам (recursive halving), алгоритм Брука (J. Bruck), попарные обмены (pairwise exchange) и методы, упорядочивающие процессы в деревьях различных видов [4-5]. В данной работе основное внимание сосредоточено на алгоритмах реализации операции трансляционно-циклической передачи сообщения (all-to-all) от каждого процесса всем остальным. Данная операция реализуется в стандарте MPI функцией

`MPI_Alltoall(sbuf, scount, stype, rbuf, rcount, rtype, comm)`

которая выполняет передачу из памяти процесса i -й блок буфера `sbuf`, содержащего `scount` элементов типа `stype`, и помещает его в i -тый блок буфера `rbuf`. Количество посланных данных должно быть равно количеству полученных данных для каждой пары процессов коммутатора `comm`. В библиотеке MPICH2 используются три различных реализации данной операции: алгоритм Джошуа Брука, блочный алгоритм и алгоритм попарных обменов. Использование различных алгоритмов реализующих одну операцию в рамках одной библиотеки, напрямую связано с эффективностью данных алгоритмов в зависимости от размеров передаваемых сообщений. Выбор операции All-to-all обусловлен ее широким распространением в параллельных программах, требовательных к производительности коммуникационной сети, например, в MPI-реализациях алгоритмах на графах (Graph500), реализациях быстрого преобразования Фурье (HPCC FFT) и методах параллельного решения из первых принципов (ab initio) задач квантовой химии (Quantum Espresso).

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00039) и программы фундаментальных исследований СО РАН (ГЗ № 0306-2019-0019).

Выполнен теоретический и экспериментальный анализ времени выполнения алгоритмов реализации операции MPI_Alltoall. Построены рекомендации по выбору алгоритма реализации операции трансляционно-циклической передачи сообщения в зависимости от размера сообщения и количества

Литература

1. Степаненко С.А. Мультипроцессорные среды суперЭВМ. Масштабирование эффективности. М.: Физматлит, 2016. 312 с.
2. Хорошевский В.Г. Распределенные вычислительные системы с программируемой структурой // Вестник СибГУТИ. 2010. № 2. С. 3–41.
3. Balaji P., Buntinas D., Goodell D., Gropp W., Hoefler T., Kumar S., Lusk E., Thakur R., Traff J. MPI on Millions of Cores // Parallel Processing Letters. 2011. Vol. 21, is. 1. P. 45–60.
4. Thakur R., Rabenseifner R., Williams G. Optimization of Collective Communication Operations in MPICH // International Journal of High Performance Computing Applications. 2005. Vol. 19, № 1. P. 49–66.
5. Курносоев М.Г. Алгоритмы трансляционно-циклических информационных обменов в иерархических распределенных вычислительных системах // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 5. С. 27–34.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАДИИ СНА ПО ВОЗДУШНОМУ ПОТОКУ У ПАЦИЕНТОВ С РАССТРОЙСТВАМИ СНА

М.А. Васин

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

Исследованием и лечением проблем во время сна занимается отдельная ветвь медицины – сомнология. Существует много различных расстройств сна, одним из которых является обструктивное апноэ. Отличительной чертой этого заболевания является частая остановка дыхания в процессе сна. Лечение подразумевает так называемую СИПАП-терапию (от англ. Constant Positive Airway Pressure, CPAP) [1], выполняемую с помощью специальных сомнологических приборов. Такие приборы имеют маску, через которую поступает воздух в легкие человека, тем самым создавая постоянное позитивное давление в дыхательных путях.

Для оценки эффективности лечения врач снимает показания с прибора и анализирует сон пациента. Чтобы понимать насколько продуктивна терапия для пациента, специалисту необходимо правильно трактовать природу каждой аномалии во сне. На основе этого сомнолог делает заключение о качестве сна. Одним из критериев здорового сна является индекс глубокого сна – как долго человек находился на стадии глубокого сна. Для его расчета необходимо определить фазу сна, в которой находился пациент, на каждом временном отрезке. Натаниель Клейтман установил, что существует две фазы сна: медленный и быстрый. Эти фазы сменяют друг друга, и как правило здоровый сон содержит 5 таких смен [2].

Точным методом определения фаз сна является полисомнография. Однако, для ее проведения необходимо дополнительное оборудование. Помимо контроля дыхания, осуществляется мониторинг глазных мышц, сердечного пульса, положения тела, насыщения крови кислородом и т.д. [3]. Вопреки отсутствию описанных выше датчиков у приборов, осуществляющих СИПАП-терапию, можно добиться определения фаз программным путем, подвергнув дополнительному анализу данные сигнала воздушного потока. Зависимость фаз сна от частоты дыхания была рассмотрена в работе Douglas и White [4].

Таким образом, раз существует зависимость между частотой дыхания и фазами сна, то логично воспользоваться алгоритмами классификации, из класса задач машинного обучения, и получить альтернативный метод для определения фаз, используя только сигнал воздушного потока с сомнологического прибора. Предлагаемый подход расширит информацию о структуре сна пациента, что позволит доктору давать оценку точнее, опираясь на новые факты.

Литература

1. Domenico M. Toraldo Clinical effects of continuous positive airway pressure therapy for obstructive sleep apnoea (OSAS) and/or chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients: implications for care. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012.
2. Aserinsky E., Kleitman N. Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep // Science. 1953. № 118. P. 270–271.
3. Douglas N.J., Thomas S., Jan M.A Clinical value of polysomnography // Lancet. 1992. № 339. P. 347–350.
4. Douglas N.J., White D.P., Pickett C.K. Respiration during sleep in normal man // Thorax. 1982. № 37. P. 840–844.

АНАЛИЗ НАКЛАДНЫХ РАСХОДОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ПРОГРАММ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

А.В. Ефимов^{1, 2}, К.В. Павский^{1, 2}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия

² Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия
efimov-av@isp.nsc.ru, pkv@isp.nsc.ru

Распределённые вычислительные системы (ВС) относятся к перспективным средствами обработки информации [1]. Основным функциональным элементом распределённой ВС является элементарная машина (ЭМ), структура которой допускает варьирование от процессорного ядра до конфигураций, включающих многоядерные процессоры и специализированные ускорители (например, GPGPU). Количество процессорных ядер в лидирующих ВС достигает 10,6 млн (MPP-система TiahuLight, 40 960 узлов) [2]. Несмотря на высокий уровень надёжности электронных компонентов, среднее время между отказами в современных ВС, может достигать десятков часов, при этом 20 % вычислительной мощности теряется в связи с отказами и восстановлением системы [3]. Актуальной является проблема обеспечения надежного и живучего функционирования ВС.

В работе [4] определены пять направлений исследований, способствующих обеспечению надёжности перспективных ВС эксафлопсного уровня производительности. Все направления связаны с классификацией отказов и поиском способов их прогнозирования, выявления и обработки.

В данной работе проведено экспериментальное исследование накладных расходов, связанных с отказами в ВС при выполнении параллельных программ (ПП) пользователей. Под отказом понимается событие, характеризующееся изменением состояния с исправного на неисправное одного из существенных для выполнения ПП компонента аппаратуры или стека системного программного обеспечения (СПО) ЭМ. Аппаратные и программные отказы могут быть обнаружены разными компонентами СПО, включающих диспетчер ресурсов ВС (например, SLURM), операционную систему и подсистему исполнения параллельных программ (Run Time Environment – RTE). Обнаружение отказа влечет за собой временные задержки на реконфигурацию подсистемы ЭМ и параллельной программы. Последнее может быть реализовано на системном или пользовательском уровне.

В настоящей работе получены временные оценки накладных расходов на выявление ошибки разными компонентами системного программного обеспечения, исключение отказавшей ЭМ, адаптации процесса исполнения ПП под конфигурацию подсистемы ЭМ ВС.

Литература

1. *Хорошевский В.Г.* Распределённые вычислительные системы с программируемой структурой // Вестник СибГУТИ. 2010. № 2 (10). С. 3–41.
2. TOP500 Supercomputers Official Site. TOP500 Lists. URL: <http://www.top500.org> (дата обращения: 22.01.2020).
3. *Bianchini R., El-Ghazawi T. and other* System Resilience at Extreme Scale White Paper. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/9fcb/154d6afce23cd9951fd7c116b86255d91b5c.pdf>, свободный (дата обращения: 21.01.2020).
4. *Cappello F., Geist A., Gropp W., Kale S., Kramer B., Snir M.* Toward Exascale Resilience: 2014 update // Supercomputing frontiers and innovations. 2014. Vol. 1, № 1. P. 1–28.

АДАПТИВНЫЙ ВЫБОР ГЛОБАЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ 3D ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ФОРМЫ

А.В. Замятин, Ю.Л. Костюк, И.Л. Лапатин, А.В. Приступа

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
pristupa@sibmail.com

Одной из задач компьютерной графики является разработка эффективных алгоритмов идентификации (распознавания) 3D-объектов с заданной точностью при определенных требованиях к быстродействию. С одной стороны, будем предполагать, что входные 3D-объекты (объекты-запросы) представлены облаками точек, полученными в результате лазерного сканирования, таким образом, что каждому объекту соответствует

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00039) и программы фундаментальных исследований СО РАН (ГЗ 0306-2019-0019).

отдельное облако. С другой стороны, в реальных задачах для визуализации большого числа объектов чаще всего используются полигональные модели. Таким образом, возникает задача перехода от облачного представления к полигональному, которая имеет множество вариантов решения, обладающих, однако, значительной вычислительной сложностью и невозможностью работы в реальном времени. Однако если предположить, что имеется некоторая база полигональных моделей эталонных объектов, которые с высокой вероятностью могут встретиться во входной сцене, возникает альтернативный способ: вместо построения полигональной модели по облаку точек можно найти соответствующую готовую модель, если таковая есть в базе, и использовать ее для визуализации объекта в соответствующей 3D-среде. Для корректного сравнения объектов-запросов с объектами-эталоном в базе хранятся не только полигональные модели, но и преобразованные к облачному виду.

Вместо прямого сравнения входного объекта со всеми объектами из базы предлагается использовать сравнение дескрипторов их формы, среди которых можно выделить как инвариантные к аффинным преобразованиям, так и неинвариантные, обычно более точные, но при этом напрямую неприменимые, если сравниваемые модели имеют разный масштаб или по-разному сориентированы в пространстве [1]. Таким образом, дополнительно встает задача «правильной» ориентации всех моделей перед сравнением, для решения которой предлагается найти собственные значения и собственные векторы ковариационной матрицы C

координат точек, описывающих объект: $C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{P}_i - \bar{\mathbf{P}})(\mathbf{P}_i - \bar{\mathbf{P}})^T$. Собственные векторы ковариационной

матрицы C определяют новый базис в пространстве, в котором объект наиболее «вытянут» вдоль первого собственного вектора. Второй собственный вектор ортогонален первому и определяет наибольшую «вытянутость» (разброс значений) точек объекта среди всех возможных направлений, ортогональных первому собственному вектору. Третий вектор ортогонален первым двум. Таким образом, собственные векторы можно использовать для составления матрицы поворота в пространстве, который необходимо выполнить для всех моделей перед построением дескрипторов, подобных GASD, SPIN [2, 3]. Однако найденные векторы определяют лишь оси, вдоль которых располагаются главные компоненты, но при этом направления векторов (знаки) остаются не определены. Для того чтобы избежать перебора вариантов поворота, предлагается методика, которая позволяет определять нужные направления главных компонент (знаки) независимо от начального положения. В ее основе лежит нахождение дополнительных характеристик (свойств) частей исходного облака точек, лежащих по разные стороны плоскости, проведенной через центр масс объекта и перпендикулярной оси, соответствующей главной компоненте.

Кроме того, собственные значения ковариационной матрицы C сами по себе дают первичное представление о некоторых характеристиках формы рассматриваемого объекта и позволяют производить первичное «грубое» сравнение. Сравнить объект целесообразно только с теми объектами из базы, которые имеют схожий набор собственных значений. Однако нужно соблюдать осторожность в ситуациях, когда некоторая пара из тройки собственных значений или вся тройка собственных значений оказываются близкими друг к другу. Это означает, что в случае представления этого же объекта в виде облака точек после другого сканирования очередность главных компонент может измениться, и объект будет повернут иначе. В подобных случаях лучше воспользоваться дескрипторами, инвариантными к повороту модели.

Литература

1. Приступа А.В., Лапатин И.Л., Замятин А.В. Применение глобальных дескрипторов формы для идентификации 3D объектов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 48. С. 57–66. DOI: 10.17223/19988605/48/7
2. Do Monte Lima J.P.S., V. Teichrieb. An efficient global point cloud descriptor for object recognition and pose estimation // Proceedings of the 2016 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images. Sao Paulo, Brazil, 4–7 October 2016. P. 56–63.
3. Johnson A.E., M. Hebert. Using Spin Images for Efficient Object Recognition in Cluttered 3D Scenes // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1999. Vol. 21(5). P. 433–449.

РАСШИРЕНИЕ СЛОВАРЯ РНРМОРНУ ДИАЛЕКТНЫМИ СЛОВАМИ*

М.Л. Громов, С.С. Земичева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
{maxim.leo.gromov, optysmith}@gmail.com

В настоящее время в Лаборатории общей и сибирской лексикографии (ЛОСЛ) Томского государственного университета ведутся исследования народно-речевой культуры Среднего Приобья. Основным

* Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 19-78-10015 «Разработка электронных ресурсов для исследования народно-речевой культуры Среднего Приобья».

материалом этих исследований являются тексты, записанные в экспедициях по региону на протяжении 70 лет [1], и диалектные словари, составленные по результатам этих экспедиций [2–4]. Одним из масштабных проектов Лаборатории, осуществляемым в настоящее время под руководством С.С. Земичевой, является оцифровка диалектного архива и создание на его основе электронного лингвистического корпуса [5]. Одной из важнейших операций с корпусом текстов является поиск заданного слова. В принципе, эта задача давно и успешно решается. Для этого достаточно построить инверсный индекс корпуса текстов (для каждого слова составить список текстов, в которые это слово входит). Далее задача становится тривиальной, необходимо сформулировать нужный запрос к базе данных. Однако такой поиск для проводимых в ЛОСЛ исследований недостаточен. Требуется также находить тексты, в которых заданное слово входит в какой-либо своей форме (например, искать не только слово «мама», но и «мамы», «маме» и т.д.). Кроме того необходимо искать слова и пары слов с заданной грамматической информацией. Например, найти прилагательное женского рода в родительном падеже. Причём может быть указана только грамматическая информация без указания самого слова (то есть найти все такие слова). Данная задача тоже разрешима. Среди инструментов, которые позволяют работать с грамматической информацией слов, есть свободно распространяемый инструмент phpMorphy [6]. Он позволяет по заданному слову находить все его формы, в том числе и базовые, хотя и с некоторой грамматической омонимией (для слова «мыла» будут найдены как минимум две базовые формы: существительное «мыло» и глагол «мыть»).

Однако, phpMorphy не учитывает диалектное происхождение текстов корпуса. Точнее, это не учтено в его внутреннем словаре, там, естественно, нет диалектных слов Среднего Приобья. Поэтому возникла необходимость дополнить словарь phpMorphy диалектными словами.

Данная работа посвящена разработке инструмента для облегчения процесса добавления новых слов в словарь phpMorphy. Разработка была разбита на несколько этапов. На первом этапе необходимо выяснить, какие диалектные слова уже есть в словаре phpMorphy, какие он правильно угадывает (то есть находит правильную базовую форму слова), а каких в нём нет (и не угадываются). Далее был разработан инструмент по внесению отсутствующих слов в словарь phpMorphy [7].

Литература

1. Лаборатория общей и сибирской лексикографии. Экспедиции. URL: <http://losl.tsu.ru/?q=node/4>.
2. Палагина В.В. (ред.) Словарь русских старожильческих говоров средней части бассейна р. Оби. Томск: Томский государственный университет, 1964–1967. Т. 1–3.
3. Блинова О.И., Палагина В.В. (ред.) Словарь русских старожильческих говоров средней части бассейна р. Оби. Дополнение. Томск: Томский государственный университет, 1975. Т. 1–2.
4. Палагина В.В. (ред.) Среднеобский словарь: Дополнение. Томск: Томский государственный университет, 1975. Т. 1–2. С. 1983–1986.
5. Zemcheva S.S., Ivantsova E.V. The project of Tomsk dialect corpus in keeping with trends of corpus linguistics development // Siberian Journal of Philology. 2018. № 3. P. 192–205. DOI: 10.17223/18137083/64/18 <https://elibrary.ru/item.asp?id=35597565>
6. phpMorphy. URL: <http://phpmorphy.sourceforge.net>.
7. M.Gromov Add Lemma phpMorphy. URL: https://github.com/maxim-leo-gromov/add_lemma_phpmorphy.

Секция 5. КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ И КРИПТОГРАФИЯ

CHARACTERIZING QUANTUM MANY-BODY SYSTEMS WITH MACHINE LEARNING*

A.K. Fedorov

Russian Quantum Center, Skolkovo, Russia
akf@rqc.ru

In this contribution, we discuss potential applications of machine learning methods for characterizing various many-body regimes. We consider how classical neural networks can be used for classification of various regimes in single-particle and many-body quantum systems [1]. We present the results of the classification between regular and chaotic behaviour in quantum billiard models with remarkably high accuracy using neural network algorithms. We evaluate convolutional neuron network outputs for the Sinai billiard, the Bunimovich stadium, and the Pascal's billiard as functions of the chaoticity parameter characterizing billiard's boundary shape. We analyze in more details within the "learning by confusion" scheme by performing a dynamical reassignment of the class labels with respect to a given value of the chaoticity parameter. By taking this method further, we show that machine learning techniques allow to pin down the transition from integrability to many-body quantum chaos in Heisenberg XXZ spin chains.

We discuss the implementation of quantum tomography protocols with the use of machine learning methods. Specifically, we demonstrate that the method based on employing Restricted Boltzmann Machines potentially allows achieving full assessment of quantum states based on a smaller amount of experimental data. We discuss an application of neural-network quantum state characterization in experimental balanced homodyne tomography [2].

We also consider the task of entanglement recognition. Entanglement is of paramount importance for quantum technologies, but the problem of determining entanglement for a given quantum state is generally known to be an NP-hard. We present a method for the separability-entanglement classification problem, which based on the machine learning with confusion method [3].

Our results pave the way for exploring the power of machine learning tools for revealing exotic phenomena in complex quantum many-body systems.

Literature

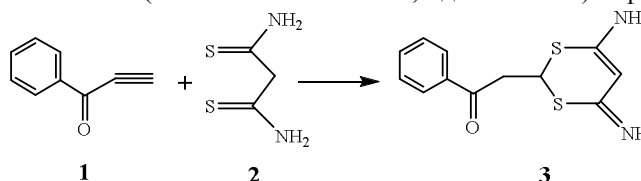
1. *Kharkov A., Sotskov V.E., Karazeev A.A., Kiktenko E.O., Fedorov A.K.* Revealing quantum chaos with machine learning // *Phys. Rev. B*, 101. 2020. Vol. 064406. P. 12.
2. *Lvovsk A.I., Tiunova (Vyborova) V.V., Fedorov A.K., Ulano A.E., Tiunov E.S.* Experimental quantum homodyne tomography via machine learning // *Optica*. 2020. Vol. 7, № 5. P. 448–454.
3. *Gavreev M.A. et al.* Learning the separability-entanglement criterion with confusion // In preparation (2020).

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ БЕНЗОИЛАЦЕТИЛЕНА С ДИТИОМАЛОНАМИДОМ

Е.А. Чиркина

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

В работе проведено квантово-химическое изучение механизма реакции бензоилацетилена **1** с дитиомалонамидом **2** с образованием 2-(6-амино-4-имино-4Н-1,3-дитиин-2-ил)-1-фенилэтан-1-она **3**:



1. Оптимизацию геометрии всех локализованных стационарных точек и гармонический колебательный анализ проводили в программном пакете GAUSSIAN 09 в рамках теории функционала электронной плотности методом B3LYP/6-311++G(d,p) в газовой фазе. Поиск переходных состояний осуществлен методом релаксированного сканирования по координате реакции, а локализация переходных состояний проведена по

* The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation (project MK- 923.2019.2).

алгоритму Берни [1]. Все рассчитанные в данной работе структуры являются стационарными точками на поверхности потенциальной энергии, что было подтверждено анализом теоретического колебательного спектра, рассчитанного из матрицы Гессеана. Для доказательства того, что полученные переходные состояния соответствуют пути исследуемой реакции, использовали процедуру следования по внутренней координате реакции методом Гонзалеза-Шлегеля [2, 3]. На рис. 1 представлен энергетический профиль данного взаимодействия.

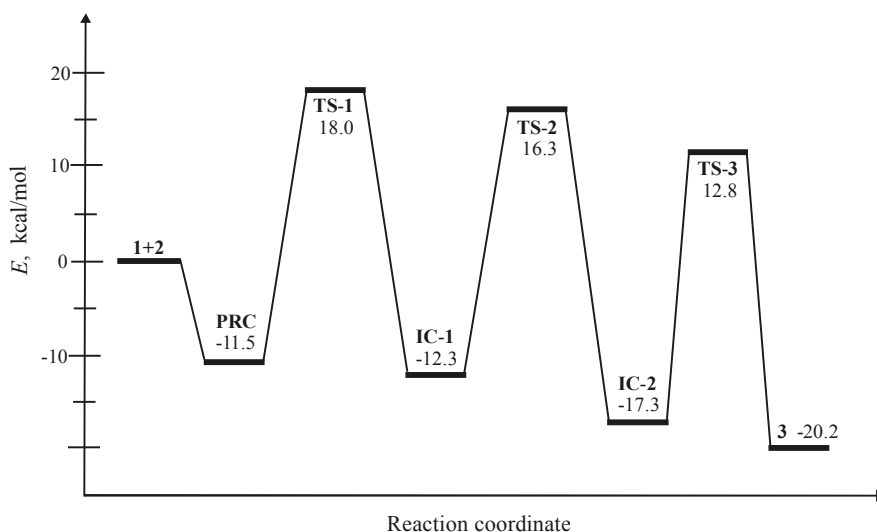


Рис. 1. Энергетический профиль реакции бензоилацетилена с дитиомалономидом

Согласно рассчитанному механизму реакция начинается с образования предреакционного комплекса **PRC**, в котором ион серы одной из тионных групп дитиомалономида располагается напротив электронодефицитного β -углеродного атома ацетиленового фрагмента бензоилацетилена перед последующим нуклеофильным присоединением. Далее **PRC** через переходное состояние **TS-1** трансформируется в промежуточное соединение **IC-1**. Впоследствии протекает внутримолекулярная циклизация **IC-1** через переходное состояние **TS-2** за счет нуклеофильного присоединения второго атома серы тиольной группы реагента по тому же β -углеродному атому с образованием гетероциклического полупродукта **IC-2**, который в результате прототропной имин-енаминной таутомерии через переходное состояние **TS-3** превращается в более выгодное по энергии конечное гетероциклическое соединение **3**.

Литература

1. Berne B.J., Tuckerman M., Martyna G. Molecular-dynamics algorithm for multiple time scales-systems with long-range forces // J. Chem. Phys. 1991. Vol. 94. P. 6811–6815.
2. González C., Schlegel H.B. Reaction path following in mass-weighted internal coordinates // J. Phys. Chem. 1990. Vol. 94. P. 5523–5527.
3. González C., Schlegel H. B. Improved algorithms for reaction path following: Higher-order implicit algorithms // J. Chem. Phys. 1991. Vol. 95. P. 5853–5860.

QUANTUM HASHING AND FOURIER TRANSFORM*

F.M. Ablayev¹, A.V. Vasiliev^{1, 2}

¹Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

²Kazan E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation
vav.kpfu@gmail.com

In [1] we have proposed a cryptographic quantum hash function and later in [2] provided its generalized version for arbitrary finite abelian groups based on the notion of ε -biased sets. Note that ε -biased sets are generally defined for arbitrary finite groups [3], but here we restrict ourselves to \mathbb{Z}_q .

* The research was funded by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities. Work was in part supported by the Russian Foundation for Basic Research (under the grant 20-37-70080).

In this case a set $S = \{s_1, \dots, s_d\} \subset \mathbb{Z}_q$ is called ε -biased, if for any $a \neq 0$

$$\frac{1}{|S|} \left| \sum_{j=1}^d e^{2\pi s_j a/q} \right| \leq \varepsilon.$$

These sets are especially interesting when $|S| \ll |\mathbb{Z}_q|$ (as $S = \mathbb{Z}_q$ is obviously 0-biased). In their seminal paper [4] Naor and Naor defined these small-biased sets, gave the first explicit constructions of such sets, and demonstrated the power of small-biased sets for several applications.

Here we define a quantum transformation that is based on small-biased sets. Let $S = \{s_1, \dots, s_d\} \subset \mathbb{Z}_q$. We denote by QFT_S the following transformation:

$$QFT_S(x)|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=1}^d e^{2\pi s_j x/q} |j\rangle.$$

The formula above gives the transformation that can be considered as a generalization of the well-known Quantum Fourier Transform (QFT). Indeed, in case of the 0-biased set $S = \mathbb{Z}_q$ this is exactly QFT. Note however, that conventional definition of QFT implies that input is quantum (see, e.g. [5]), but here we consider this transformation to be classically-controlled, i.e. input is classical.

In terms of quantum hashing from [6] QFT_S for $S = \mathbb{Z}_q$ corresponds to the unbalanced (0,1)-resistant quantum hash function (the one, that is perfectly collision resistant, but doesn't hide any information).

In case of the small-sized and small-biased set $S \subset \mathbb{Z}_q$ we obtain the transformation that defines a balanced quantum hash function ψ_S from [6]:

$$|\psi_S(x)\rangle = QFT_S(x)|0\rangle.$$

We show that this transformation can be used to construct space-efficient algorithms for a family of Boolean functions whose weak polynomial presentation is linear.

Literature

1. Ablayev F.M., Vasiliev A.V. Cryptographic quantum hashing // Laser Physics Letters. 2014. Vol. 11, № 2. Art. №. 025202.
2. Vasiliev A. Quantum hashing for finite abelian groups // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2016. Vol. 37, № 6. P. 751–754.
3. Chen S., Moore C., Russell A. Small-bias sets for nonabelian groups // Lecture Notes in Computer Science. 2013. Vol. 8096. P. 436–451.
4. Naor J., Naor M. Small-bias probability spaces: Efficient constructions and applications // Proceedings of the Twenty-second Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '90. 1990. P. 213–223.
5. Nielsen M.A., Chuang I.L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press, 2000. 704 p.
6. Ablayev F., Ablayev M., Vasiliev A. On the balanced quantum hashing // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 681, № 1. Art. № 012019.

РЕГИСТРАЦИЯ КВАНТОВОГО СОСТОЯНИЯ ОДИНОЧНОГО ФОТОНА ПРИ ПОСТРОЕНИИ СПУТНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ СЕТИ*

*В.Л. Курочкин^{1,3,4}, А.В. Хмелев^{1,2}, И.В. Петров^{1,2}, А.В. Миллер³, Ф.Ф. Феимов³,
В.Ф. Майборода³, М.Ю. Баланов^{3,4}, В.В. Крушинский⁵, А.А. Попов⁵, Ю.В. Курочкин^{1,2,3,4}*

¹ Российский квантовый центр, Москва, Россия

² МФТИ, Долгопрудный, Россия

³ КуРэйт, Москва, Россия

⁴ Центр квантовых коммуникаций НТИ, НИТУ МИСиС, Москва, Россия

⁵ УрФУ, Екатеринбург, Россия

v.kurochkin@rqc.ru

В настоящее время стоит задача развертывания широкомасштабных сетей квантовых коммуникаций с дальностью связи на тысячи километров. При распределении квантового ключа по оптоволоконным каналам связи потери сигнала экспоненциально увеличиваются с расстоянием, что значительно ограничивает скорость и дальность безопасного распределения ключа на дальние расстояния.

Альтернативой является использование спутников в качестве промежуточных доверенных узлов для связи между приемниками на Земле [1, 2]. Запустив спутник на низкую орбиту ~400–600 км, можно установить

* Работа поддержана Российским Научным Фондом (Грант No. 17-71-20146).

квантовую линию связи со спутника на наземную приемную станцию, что позволит обеспечить связь между произвольно удаленными точками на поверхности Земли. Затухание интенсивности излучения в атмосфере меньше, чем в оптоволоконном кабеле. Часть потерь сигнала возникает из-за диффузии лазерного пучка в атмосфере, дифракционных потерь, связанных с ограниченной апертурой лазерного луча и ограниченного диаметра телескопа у наземного приемника. Тем не менее, суммарный объем потерь получается значительно меньше по сравнению с наземной оптоволоконной передачей на дальние расстояния, что делает распределение квантового ключа с помощью спутников перспективным решением для решения задачи построения широкомасштабных сетей.

В докладе описываются принципы построения оптической схемы приемника для регистрации различных квантовых состояний одиночного фотона. Представлена оптическая схема сопряжения приемника и телескопа с апертурой 0,6–1,2 м. Рассмотрены методы управления телескопом для непрерывного сопровождения низкоорбитальных спутников. Для уменьшения уровня шумовых фотоотчетов используется временная синхронизация при регистрации сигнала. Представлены полученные экспериментальные данные по регистрации одиночных фотонов от спутника.

Литература

4. Sheng-Kai Liao, Wen-Qi Cai, Wei-Yue Liu et al. Satellite-to-ground quantum key distribution // Nature. 2017. № 549. С. 43-47.
5. Kurochkin V. L., Miller A. V., Rodimin V. E., Vorobey S. S., Balanov M. Y., Kurochkin Y. V. Quantum key distribution for ultra-long distances based on microsattellites// AIP Conference Proceedings. 2019. № 2069. С. 03003.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА МОДУЛЬНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКЕ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ*

Д.Е. Каширский, М.С. Мажитова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
kde@mail.tsu.ru, majitova.meerimai@gmail.com

В различных научных и промышленных областях решаются задачи, в которых требуется регистрировать очень слабые сигналы на уровне единичных фотонов. Для этого используют детекторы одиночных фотонов (ДОФ), работа которых основана на различных физических принципах [1]. Одним из бурно развивающихся в настоящее время направлений, способных обеспечить безопасную передачу информации, являются квантовые коммуникации. В установках квантового распределения ключей используются в основном ДОФ на основе лавинных фотодиодов [2–3]. Для определения оптимального режима работы ДОФ необходимо проводить измерение его параметров.

В работе рассматривается вопрос разработки программного обеспечения для автоматизированного измерения параметров ДОФ на основе лавинных фотодиодов, работающих в режиме асинхронного обнаружения фотонов, на модульной научно-исследовательской установке квантового распределения ключей производства ООО «КуРэйт» [4–5]. Управление установкой производится с персонального компьютера с помощью платы NI PCIe 7841R и программного обеспечения, написанного на LabView. Такой подход дает возможность строить различные оптоэлектронные схемы и обеспечивает относительно быструю и простую разработку программного обеспечения, реализующего логику их работы.

Эксперимент по измерению параметров ДОФ состоит в следующем. На ДОФ подается ослабленное с помощью постоянного и переменного аттенуаторов излучение с длиной волны 1550 нм, генерируемое термостабилизированным полупроводниковым лазером, работающим в импульсном режиме с частотой следования импульсов в диапазоне от 0,5 кГц до 15 кГц. В течение заданного времени производится фиксация отсчетов ДОФ, причем накопление статистики ведется за время равное периоду следования импульсов. Используя полученное временное распределение срабатываний ДОФ, определяется время и число срабатываний ДОФ в моменты прихода на него импульсов, время появления и число послеимпульсов. Применяя полуэмпирический подход, рассчитываются следующие параметры ДОФ: вероятность детектирования фотонов, вероятность возникновения послеимпульсов, «мертвое» время.

Программное обеспечение условно можно разделить на три части. Первая часть – пользовательский интерфейс, обеспечивающий задание частоты следования лазерных импульсов, коэффициентов аттенуации постоянного и переменного аттенуаторов, количества измерений, длительности одного измерения, доверительной вероятности, пути к файлу на жестком диске для сохранения результатов измерений. Вторая часть представляет собой прошивку для ПЛИС Virtex-5 LX30, расположенной на плате NI PCIe 7841R, и

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (проект № 0721-2020-0048) и Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

отвечает за управление работой лазера и обработку поступающих с ДОФ сигналов. Третья часть – статистическая обработка собранных данных измерений, включающая в себя определение среднего значения измеряемой величины, абсолютной и относительной ошибок измерений.

Используя разработанное программное обеспечение, была отработана методика измерения параметров ДОФ. Проанализированы зависимости параметров ДОФ от частоты следования импульсов, степени ослабления лазерного излучения, длительности одного измерения и величины доверительного интервала.

Литература

1. *Ходжес М., Граберг С.* Модули счета одиночных фотонов на основе лавинных фотодиодов // Фотоника. 2013. № 4. С. 94–99.
2. *Liang Y., Zeng, H.* High-speed single-photon detection with avalanche photodiodes in the near infrared // Optoelectronics – Materials and Devices. Rijeka: InTech, 2015. P. 213–234. doi: 10.5772/60481.
3. *Zhang J., Itzler M.A., Zbinden H. et al.* Advances in InGaAs/InP single-photon detector systems for quantum communication // Light: Science & Applications. 2015. Vol. 4. e286. doi: 10.1038/lsa.2015.59.
4. *Rodimin V., Ponomarev M., Kazieva T. et al.* Modular platform for photonic optical experiments and quantum cryptography // 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2019). Proceedings. Tomsk, Russia 18-20 April 2019. [S. I.]: IEEE, 2019. P. 140–142. doi: 10.1109/SIBCON.2019.8729637.
5. *Rodimin V.E., Kiktenko E.O., Usova V.V. et al.* Modular quantum key distribution setup for research and development applications // Journal of Russian Laser Research. 2019. Vol. 40 (3). P. 221–229. doi: 10.1007/s10946-019-09793-5.

Секция 6. ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

СОБСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КВАЛИМЕТРИИ МОДЕЛЕЙ*

С.В. Микони

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия
smikoni@mail.ru

Классификация моделей, предложенная в [1], основана на разделении свойств модели на следующие группы: целевые, собственные, общие и сервисные свойства. К целевым свойствам отнесены моделируемые свойства объекта. В зависимости от их количества модели делятся на одно- и многоаспектные модели.

Любой сущности (т.е. тому, что существует) присуща *роль*, выделяющая её среди остальных, *строение* и *состояние движения/покоя*. Этим свойствам сущности соответствует тройка <Функция, Операция, Структура>, выводимая из модели предикатов первого порядка. Элементы тройки названы *собственными* свойствами модели, поскольку присущи любой модели независимо от её типа (символьный, логический, образный, вычислительный) и назначения. Элементам тройки поставлены в соответствие функциональная (Ф-модель), операционная (О-модель) и структурная (С-модель) модели. По отношению к образуемому ими базису они играют роль элементарных свойств, которые комбинируются в составные свойства модели такие, как структурно-функциональная модель (СФ-модель).

Предложены разновидности объединения элементарных моделей. Включение О-модели в Ф-модель и в СФ-модель означает вычислимость вычислительной модели и выводимость логической модели. Предложено различать описательные и выполнимые модели в выбранной среде моделирования. Применяемые на практике сочетания элементарных моделей сведены в таблицу. Комбинации элементарных свойств в сочетании с формальным и машинным языком описания позволяют формализовать технологический процесс разработки модели и полимодельных комплексов (ПМК) с включением их в среду моделирования.

Понятие полезности введено для оценивания моделей, для которых не существует реального прообраза. Измерение полезности таких моделей (полимодельных комплексов) выполняется по отношению к поставленной цели также с применением СФ-модели и О-модели. Сервисные свойства модели характеризуют удобство работы с моделью. При воспроизведении соответствующих свойств объекта моделирования они относятся к целевым свойствам.

В теоретической квалиметрии различают прямые и обратные задачи квалиметрии. Под ними понимают соответственно задачи анализа качества продукции и задачи синтеза продукции с заданными (требуемыми) свойствами. В основе решения прямой задачи лежит оценивание (измерение) качества продукции, в основе обратной задачи – *управление* качеством продукции с целью придания ей необходимых свойств. Применительно к квалиметрии моделей прямой задачей является оценивание качества (анализ) модели существующего объекта-оригинала, а обратной задачей – синтез модели. Конечной целью квалиметрии моделей является разработка типовых моделей и методов, а также рекомендаций по их обоснованному выбору (синтезу) в зависимости от условий решаемой задачи квалиметрии моделей и ПМК.

Изложенные выше элементарные свойства модели используются для оценивания общих свойств моделей – *адекватности* и *сложности*. Степень соответствия свойств модели свойствам объекта-оригинала (адекватность модели) и сложность по памяти оценивается на основе СФ-модели. Структурные свойства модели изучаются с применением С-модели. О-модель используется для оценивания результативности (точность, достоверность) и алгоритмической сложности модели. Соотношение результативности и алгоритмической сложности, выраженной через временной фактор, характеризует начальную эффективность моделирования (без учёта аппаратно-программных ресурсов). Поскольку процесс создания модели является итеративным, он чередуется решением обратной и прямой задач квалиметрии. При этом создаётся возможность улучшения качества модели на каждом новом витке её синтеза.

Литература

1. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.

* Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-01-00139 и № 19-08-00989.

К ПРИМЕНИМОСТИ КОМПОЗИЦИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ К ОПИСАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСШИРЕННЫХ АВТОМАТОВ

А.Н. Михайлова, В.С. Болтова, С.А. Прокопенко, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mickhailow@mail.ru, viktoria.boltova@mail.ru, s.prokopenko@sibmail.com, nataliamailbox@mail.ru

Описание телекоммуникационных систем формальными моделями в настоящее время требует использования моделей, которые отличаются от конечного автомата наличием входных и выходных параметров, внутренних переменных, предикатов (в зависимости от истинности которых выполняются переходы) и функций, определяющих новые значения внутренних и выходных параметров. Такой моделью является расширенный автомат [1], однако, если необходимо описать взаимодействие расширенных автоматов, то возникает ряд проблем. Некоторые из них, в частности, возможность построения композиции непосредственно расширенных автоматов, обсуждались в [2]. Заметим, что, как правило, композицию расширенных автоматов строят, переходя к эквивалентным (в некотором смысле) конечным автоматам.

В данной работе обсуждается вопрос, какую часть поведения расширенных автоматов при взаимодействии удастся сохранить, если строить композицию не напрямую (поскольку это не всегда возможно), а переходя к конечным автоматам путем построения l -эквивалентов [3]. Для такого исследования мы рассматриваем случай, когда можно построить композицию расширенных автоматов, не переходя к эквивалентным конечным автоматам. Т.е. мы имеем описание компонент в виде расширенных автоматов и описание их совместного поведения также в виде расширенного автомата. На таких примерах есть возможность оценить, какую часть описания совместного поведения компонент удастся сохранить, если строится композиция, используя переход к l -эквивалентам.

Для автоматизации построения композиции можно пользоваться различными программными инструментами, разработанными для данных целей. Например, существует графический редактор расширенных автоматов, встроенный в пакет fsmtestonline [4], который позволяет отрисовать расширенный автомат и затем перевести его в специальный формат, пригодный для инструмента BALM-II [5], с помощью которого можно автоматически построить бинарную параллельную композицию конечных автоматов. Таким образом, в результате мы получим конечный автомат, который частично описывает поведения взаимодействующих компонент. Теперь мы хотим оценить, что именно описывает данный автомат: какие переходы в расширенном автомате композиции покрываются входными последовательностями конечного автомата, какие состояния/конфигурации достигаются.

Мы рассмотрели описание двух компонент, заданное расширенными автоматами. Первый автомат имеет 2 состояния, входные символы i_1, i_2, v , выходные символы o_1, o_2, u и одну контекстную переменную. Второй автомат имеет 2 состояния и по одному входному и выходному символу u и v соответственно. Промоделировав их совместное поведение, получили описание взаимодействия в виде расширенного автомата с двумя состояниями, двумя входными и выходными символами, одной контекстной переменной. Затем для исходных расширенных автоматов с помощью пакета fsmtestonline построили их 1-эквиваленты, который скомпоновали с помощью инструмента BALM-II. В результате получили конечный автомат с двумя состояниями, входными и выходными символами x_1, x_2, y_1, y_2 . Для этого автомата построили тест обходом графа переходов, сконвертировали его обратно в формат входных символов расширенного автомата и подали на расширенный автомат композиции. В результате накрыто три перехода из шести, достигнуты оба состояния.

Литература

1. Petrenko A., Boroday S., Groz R. Confirming Configurations in EFSM Testing // IEEE Trans. Software Eng. 2004. Vol. 30, № 1. P. 29–42.
2. Широкова Е.В., Прокопенко С.А., Шабалдина Н.В. К построению параллельной композиции расширенных автоматов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 48. С. 83–91. URL: http://journals.tsu.ru/informatics/&journal_page=archive&id=1888.
3. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. М.: Энергия, 1976. 464 с.
4. Extended Finite State Machine editor. URL: <http://fsmtestonline.ru> (дата обращения: 18.04.2019).
5. URL: <https://embedded.eecs.berkeley.edu/Respep/Research/mvsys/balm.html> (дата обращения: 06.04.2018).

УПРОЩЕНИЕ КОНЪЮНКТИВНЫХ НОРМАЛЬНЫХ ФОРМ В ЗАДАЧАХ ПОСТРОЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ СХЕМ

В.А. Провкин

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

В процессе производства интегральных схем возможно обнаружение неисправностей на поздних стадиях производства схемы. В таких случаях приходится либо возвращать схемы на более ранние стадии производства, либо выбрасывать их как непригодные к использованию. Подобные ситуации снижают выход годных схем, что весьма нежелательно. Кроме того, в схемы, изготовленные сторонними фирмами, могут быть внедрены вредоносные подсхемы (Trojan Circuits (TCs)) с целью разрушения системы или извлечения конфиденциальной информации. Срабатывание вредоносной подсхемы также может рассматриваться как проявление неисправности на линии связи, к которой присоединён выход вредоносной подсхемы.

Чтобы увеличить выход годных схем, применяются ECO (Engineering Change Order) технологии. Неисправность в изготавливаемой схеме можно маскировать с помощью корректирующей схемы, подключаемой к входам корректируемой схемы и либо к выходам, либо к внутренним полюсам этой же схемы. Каждому внутреннему полюсу логической схемы соответствует частично определённая булева функция [1]. При проявлении неисправности происходит искажение этой функции. Чтобы обеспечить корректное функционирование схемы, корректирующая схема должна реализовывать правильную частичную функцию. Частично определённая функция представляется двумя множествами – множеством единичных значений M_1 и множеством нулевых значений M_0 . Для нахождения множеств M_1 , M_0 частичной функций могут применяться ROBDD-графы. Однако для некоторых схем количество внутренних вершин ROBDD-графа растёт экспоненциально по отношению к числу переменных графа независимо от выбора порядка разложения по переменным, что исключает возможность использования таких графов. Поэтому предлагается альтернативный подход, основанный на определении выполнимости булевых формул, записанных в КНФ. Сначала строится логическая схема, реализующая функцию наблюдаемости. Затем, для получения КНФ, к этой схеме применяется преобразование Цейтина [2]. При этом КНФ содержит как входные переменные, так и внутренние, сопоставляемые элементам схемы, а ее длина линейно зависит от числа элементов в схеме. Далее, с помощью алгоритма, основанного на решении задачи выполнимости [3], строятся безызбыточные ДНФ, представляющие множества M_1 , M_0 . Затем к ним применяется алгоритм минимизации с целью получения ДНФ, которая используется в качестве задания на синтез корректирующей схемы.

Однако КНФ для схемы, реализующей функцию наблюдаемости, оказывается довольно громоздкой, что значительно замедляет определение её выполнимости. В самом деле, для построения функции наблюдаемости используется булева разность, что приводит к двукратному увеличению числа элементов в схеме, ее представляющей, а при построении соответствующей схеме КНФ каждый элемент схемы получает свою уникальную внутреннюю переменную. Тем не менее, размер такой схемы можно уменьшить. В данной работе предлагается способ упрощения КНФ, основанный на том, что в схемах, описывающих функции наблюдаемости, можно выделить одинаковые подсхемы, не зависящие от переменной, относительно которой строится булева разность. Такие подсхемы можно совместить, и тем самым уменьшить количество внутренних переменных в КНФ.

Предварительные эксперименты показывают, что предлагаемый способ приводит к существенному сокращению количества внутренних переменных КНФ, и, как следствие, построение безызбыточных ДНФ выполняется быстрее.

Литература

1. *Matrosova A., Ostanin S.* Trojan Circuits Masking and Debugging of Combinational Circuits with LUT Insertion // Proc. IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. AQTR 2018 (THETA 21) Cluj-Napoca, Romania, 2018. P. 462–467.
2. *Цейтин Г.С.* О сложности вывода в исчислении высказываний // Записки научных семинаров ЛОМИ АН СССР. 1968. Т. 8. С. 234–259.
3. *Petkovska A., Mishchenko A., Novo D., Owaida M.* Progressive Generation of Canonical Irredundant Sums of Products Using a SAT Solver. // Reis A., Drechsler R. Advanced Logic Synthesis. 2018. P. 169–188.

ОБ УПРОЩЕНИИ СХЕМЫ САМОТЕСТИРУЕМОГО ДЕТЕКТОРА (M, N)-КОДОВ ДЛЯ ПОДМНОЖЕСТВА КОДОВЫХ СЛОВ

Н.Б. Буторина¹, Ю.Б. Буркатовская², Е.Г. Пахомова¹

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² Томский политехнический университет, Томск, Россия
nnatta07@mail.ru

В самопроверяемых схемах используются детекторы кодов. Но на выходах самопроверяемого устройства, к которому подключен детектор равновесных кодовых слов, не всегда достигаются всевозможные кодовые слова. Число l достигаемых кодовых слов может быть меньше числа всевозможных кодовых слов. В статьях [1–3] рассматривается синтез самотестируемого детектора для подмножества кодовых слов на базе программируемых логических блоков (ПЛБ) [2, 3]. В данной статье выделяются свойства ПЛБ, на входы которых поступают подмножества кодовых слов специального вида. Эти свойства позволяют упростить схему детектора.

Для обеспечения самотестируемости используются определенные ниже функции специального вида.

Определение 1. Фрагментом $F_k^q(x_1, \dots, x_k)$, где $0 \leq q \leq k$, назовём подмножество кодовых слов, совпадающих с множеством единичных значений функции $D_k^q(x_1, \dots, x_k)$ (дизъюнкцией элементарных конъюнкций (ДНФ) ранга n), вес фрагмента при этом совпадает с q .

Определение 2. Фрагмент $F_k^q(x_1, \dots, x_k)$ называется *неполным*, если соответствующее ему множество кодовых слов, совпадает с некоторым подмножеством множества единичных значений функции $D_k^q(x_1, \dots, x_k)$. В противном случае, фрагмент называется *полным*.

Введем следующие обозначения:

1) $FSS_k^q(x_1, \dots, x_k)$ (FragmentSubSet) – подмножество $F_k^q(x_1, \dots, x_k)$ такое, что в каждом столбце таблицы, содержащей все векторы подмножества $FSS_k^q(x_1, \dots, x_k)$, присутствуют значения 0 и 1.

2) $FrSet(x_1, \dots, x_k)$ – всё множество фрагментов $F_k^q(x_1, \dots, x_k)$, то есть множество $FrSet(x_1, \dots, x_k)$ состоит из всевозможных векторов длины k и веса q , где $0 \leq q \leq k$.

3) $FrSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$ – подмножество множества $FrSet$ от переменных x_1, \dots, x_k , удовлетворяющее следующим условиям: а) в нем присутствуют два фрагмента, хотя бы один из которых неполный; б) веса фрагментов отличаются не менее, чем на 2; в) неполные фрагменты принадлежат множеству $FSS_k^q(x_1, \dots, x_k)$.

Определение 3. Назовем функцию, область единичных значений которой совпадает с подмножеством $FrSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, функцией $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$.

Пусть ПЛБ реализует функцию $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$. Здесь k – количество входов в программируемый логический блок.

Теорема 1. Если ПЛБ реализует функцию $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, где k – количество входов в ПЛБ, то для кратной неисправности на входах ПЛБ либо существует тест из множества $FrSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, либо кратная неисправность проявляет себя как неисправность «константа 1» на выходе ПЛБ.

Теорема 2. Если на одном из выходов двух выходного блока реализуется функция типа $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, то какой бы ни была вторая функция, сопоставляемая блоку, кратная неисправность на входных полюсах этого блока либо обнаруживается на соответствующем векторе α из $FSubSetSS$, либо проявляется на этом выходе как константа 1.

Рассмотрим следующую подсхему (назовем ее подсхемой 1): нижний ярус состоит из одно- или двухвыходного ПЛБ, реализующего функцию (один из выходов) $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, а выход этого ПЛБ является входом в несколько ПЛБ, реализующих функцию, область единичных значений которой в пространстве переменных $y_1, y_2, \dots, y_{l-1}, y_l$ можно представить выражением $y_1 y_2 y_3 y_4 \dots y_{l-1} y_l \vee y_1 y_2 y_3 y_4 \dots y_{l-1} y_l \vee \dots \vee y_1 y_2 y_3 y_4 \dots y_{l-1} y_l$. Выходы этих ПЛБ являются выходами подсхемы.

Теорема 3. Для кратной неисправности на входах одного из ПЛБ подсхемы 1 либо существует тест, представляемый одной из конъюнкций из множества $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, либо кратная неисправность проявляет себя как неисправность «константа 1» на выходе подсхемы 1.

Таким образом, использование ПЛБ, реализующих функцию $FSubSetSS(x_1, \dots, x_k)$, позволяет уменьшить количество ПЛБ и упростить схему детектора.

Литература

1. Буторина Н.Б., Цидендоржиева С.Р. Построение самотестируемого детектора равновесных кодовых слов // 7^я российская конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур». Томск: ТГУ, 2008. С. 44.
2. Буторина Н.Б. О свойствах программируемых логических блоков, реализующих кодовые слова равновесных кодов // Вестник Томского государственного университета. УВТИИ. 2017. № 38. С. 72–79.
3. Butorina N., Burkatovskaya Yu., Pakhomova E. Evaluation of Code-Word Subsets to Ensure the Self-testing Property of a Checker // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, 14-17 September 2018. [S. 1.], 2018. P. 786–791.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕСТОВЫХ ПАР ДЛЯ РОБАСТНО ТЕСТИРУЕМЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЗАДЕРЖЕК ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КНФ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

В.З. Тычинский, В.В. Андреева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tvz.041@gmail.com, avv.21@mail.ru

Тестирование неисправностей задержек путей является обязательным в процессе создания схем, характеризующихся высоким быстродействием и высоким уровнем интеграции. Для тестирования неисправности задержки пути необходимы два вектора, тестовая пара (v_1, v_2) . Тестирование неисправностей задержек путей на практике выполняется методами сканирования [1], при которых вектор v_2 получается из вектора v_1 либо сдвигом v_1 , либо v_2 порождается реакцией комбинационной составляющей схемы с памятью на вектор v_1 . Ясно, что при таком подходе тестовые пары для робастно тестируемых неисправностей задержек путей далеко не всегда удастся сформировать, в то время как важно получать именно такие тестовые пары. Как следствие, гарантированное получение тестовых пар для робастно тестируемых неисправностей задержек путей является актуальной задачей.

В предложенном в данной работе алгоритме тестовые пары для робастно тестируемых неисправностей задержек путей комбинационной схемы C получают с использованием булевой разности для рассматриваемого пути [2]. Предлагается булеву разность пути представлять произведением «КНФ разрешения» [3], сопоставляемых элементам этого пути: $K = K_1 \& \dots \& K_s$. Здесь s – число элементов пути, K_j – «КНФ разрешения», сопоставляемая подсхеме, реализующую булеву разность для j -го элемента пути. Затем при помощи SAT решателя из «КНФ разрешения» K извлекаются интервалы в пространстве n входных переменных схемы. Булевы векторы v_1 и v_2 , отличающиеся инверсными значениями по переменной, отмечающей начало пути, получают путём доопределения интервала на множестве n переменных. Эти векторы представляют тестовую пару, обнаруживающую робастно тестируемую неисправность задержки рассматриваемого пути. Преимуществом предлагаемого алгоритма по сравнению с алгоритмом [4], является возможность извлечения тестовых пар в схемах, для которых перемножаемые ROBDD-графы R_1, \dots, R_s , сопоставляемые элементам рассматриваемого пути и соответствующим подсхемам схемы C , оказываются чрезвычайно громоздкими. (Число вершин перемножаемых ROBDD-графов может экспоненциально зависеть от числа переменных графов). При использовании SAT решателя для извлечения булевой разности рассматриваемого пути каждая КНФ K_j произведения характеризуется линейной сложностью от числа элементов подсхемы, ее порождающей, что позволяет получить существенно менее громоздкое выражение для КНФ K . Дополнительным преимуществом предлагаемого алгоритма является возможность последовательного получения интервалов, представляющих тестовые пары, в то время как в алгоритме [4] множество тестовых пар получается только целиком, и для его представления может потребоваться громоздкий ROBDD-граф. Возможность получения ограниченного подмножества тестовых пар полезна в случае, когда число интервалов, представляющих тестовые пары слишком велико. Использование подмножеств вместо всех пар несколько снижает качество тестовых последовательностей [4] для подмножеств путей схемы C , однако позволяет применять предлагаемый подход к более сложным схемам.

Литература

4. V. D. Agrawal, R.T. Cheng, D.D. Johnson, and T.S. Lin. Designing Circuits with Partial Scan // IEEE Design & Test of Computers. 1988. Vol.5, № 2. P. 8–15.
5. Matrosova A.Yu., Andreeva V.V., Nikolaeva E.A. Finding Test Pairs for PDFs in Logic Circuits Based on Using Operations on ROBDDs // Russian Physics Journal. 2018. Vol. 61, № 5. P. 994–999.
6. Черемисинова Л.Д. Поиск кратчайшей установочной последовательности схемы с памятью на Дтриггерах // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. 2015. С. 119–128.
7. Матросова А.Ю., Андреева В.В., Тычинский В.З., Гошин Г.Г. Использование ROBDD-графов для тестирования задержек логических схем // Известия высших учебных заведений. Физика. 2019. Т. 62, № 5 (737). С. 86–94.

ПОСТРОЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, ДОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕСТОВУЮ ПАРУ ДЛЯ РОБАСТНО ТЕСТИРУЕМОЙ НЕИСПРАВНОСТИ ЗАДЕРЖКИ ПУТИ

А.Ю. Матросова, С. В. Чернышов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
maul1@yandex.ru, semen.cher@mail.ru

В процессе производства логических схем высокой производительности необходимо тестировать задержки, возникающие при высоких скоростях функционирования схемы и нано размерах транзисторов. Эти задержки не удастся учесть при проектировании таких схем. Одной из широко используемых на практике моделей неисправностей задержек в схеме является модель неисправности задержек путей (Path Delay Fault (PDF) model). Различают робастно тестируемые и не робастно тестируемые неисправности задержек путей, обнаруживаемые соответствующими парами тестовых наборов. Обнаружение робастно тестируемых неисправностей задержек пути позволяет точно определить путь в схеме, на котором эта неисправность проявляется. Обнаружение не робастно тестируемых неисправностей задержек пути не дает гарантии, что задержка имеет место именно на том пути, который тестируется. В связи с этим нахождение робастно тестируемых неисправностей задержек пути является предпочтительным. Действительно в этом случае можно попытаться устранить обнаруженную неисправность или даже маскировать ее проявление. Для обнаружения робастно тестируемых неисправностей задержек путей используются различные техники сканирования, основанные на обеспечении доступа к переменным, представляющим состояния схемы с памятью, через специальные регистры [1]. Следует иметь в виду, что чем выше качество тестов для неисправностей задержек путей, тем выше аппаратные затраты, связанные с соответствующей техникой сканирования. Эта тенденция делает актуальной разработку тестовых последовательностей, обнаруживающих робастно тестируемые неисправности задержек путей схемы в условиях отсутствия доступа к переменным, представляющим состояния схемы. Использование таких последовательностей не требует дополнительных аппаратных затрат.

Представляемая работа посвящена построению тестовой последовательности, обнаруживающей робастно тестируемую неисправность задержки пути в схеме с памятью. Разработан алгоритм, гарантирующий построение такой последовательности в условиях ограничения на длину установочной последовательности (из заданного начального состояния схемы). Описание поведения схемы представлено State Transition Graph (STG-графом). Алгоритм основан на использовании множества всех тестовых пар соседних булевых векторов, обнаруживающих робастно тестируемую неисправность задержки рассматриваемого пути в комбинационной составляющей [2] схемы с памятью. Это множество компактно представляется соответствующим ROBDD-графом R_{rob} . Соседство имеет место по переменной, отмечающей входную переменную рассматриваемого пути. Отметим, что троичные векторы, представляемые R_{rob} , и порождаемые ими булевы векторы содержат составляющие по входным и внутренним переменным схемы с памятью. Рассматриваются две ситуации: а) соседние булевы векторы, извлекаемые из R_{rob} , отличаются по входной переменной и б) соседние булевы векторы, извлекаемые из R_{rob} , отличаются по внутренней переменной. Отдельно отыскиваются последовательности для каждой из противоположных смен значений сигналов вдоль рассматриваемого пути. Проведены эксперименты на контрольных примерах, показавшие, что доля робастно тестируемых неисправностей задержек путей в условиях недоступности внутренних переменных, представляющих состояния схемы, существенно меньше, чем при использовании методов сканирования.

Литература

1. Agrawal V. D., Cheng R.T., Johnson D.D, and Lin T.S. Designing Circuits with Partial Scan // IEEE Design & Test of Computers. 1988. Vol. 5, № 2. P. 8–15.
2. Matrosova A.Yu., Andreeva V.V., Nikolaeva E.A. Finding Test Pairs for PDFs in Logic Circuits Based on Using Operations on ROBDDs // Russian Physics Journal. 2018. Vol. 61, № 5. P. 994–999.

СИНТЕЗ УСТАНОВОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТОВ С ТАЙМАУТАМИ*

А.С. Твардовский¹, Н.В. Евтушенко²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² Институт системного программирования РАН, Томск, Россия
tvardal@mail.ru, evtushenko@ispras.ru

Модели с конечным числом переходов активно используются как инструмент моделирования программного и аппаратного обеспечения, и одной из известных моделей такого типа является конечный автомат [1], который совмещают в себе выразительность и простоту решения ряда задач анализа и синтеза для цифровых систем. Задачи идентификации состояний [2, 3] конечных автоматов имеют длинную историю как исследований, так и их применения в таких областях как верификация, активное и пассивное тестирование [4], но остаются недостаточно изученными для неклассических автоматных моделей. Естественным расширением классических конечных автоматов стали автоматы с различными временными аспектами (временные автоматы [5, 6]), которые позволяют адекватно моделировать современные телекоммуникационные системы, поведение которых существенно зависит от времени. Далее мы рассматриваем автоматы с входными и выходными таймаутами и одной временной переменной, которая постоянно накапливает значение подобно секундомеру до истечения таймаута, формулируем понятие установочной последовательности для такого временного автомата и обсуждаем вопросы, относящиеся к синтезу таких последовательностей.

Автоматом с таймаутами [5] называется пятёрка $S = (S, I, O, h_S, \Delta_S)$, где S – множество состояний, I и O – входной и выходной алфавиты, $h_S \subseteq (S \times I \times O \times S \times Z)$ – отношение переходов, Z – множество целых неотрицательных чисел, $\Delta_S: S \rightarrow S \times (N \cup \{\infty\})$ – функция таймаута, N – множество натуральных чисел. Если в автомате есть переход (s, i, o, s_1', d) и входной символ i будет подан в состоянии s при значении временной переменной $t < T$, где $\Delta_S(s) = (s_2', T)$, то автомат перейдет в состояние s_1' и через d единиц времени выдаст выходной символ o , если временная переменная в состоянии s достигнет таймаута T , то автомат перейдет в состояние s_2' ; в обоих случаях временная переменная будет сброшена в 0 при переходе. Пара (i, t) называется *временным входным символом*, пара (o, d) – *временным выходным символом*. Далее мы рассматриваем полностью определённые, возможно недетерминированные автоматы, для которых в каждом состоянии для каждого входного временного символа существует не менее одного перехода. Под *установочной последовательностью* [2] α конечного автомата S понимается последовательность входных символов, позволяющая по соответствующей выходной реакции γ в любом состоянии s автомата S установить состояние, в которое перешёл автомат после подачи последовательности α (α/γ -преемник состояния s). При рассмотрении модели временного автомата необходимо учитывать, что в момент подачи установочной последовательности, соответствующая реакция и достигнутое состояние-преемник будут зависеть не только от исходного состояния автомата, но и от значения временной переменной в начале эксперимента. Таким образом, последовательность временных входных символов α называется установочной для автомата с таймаутами S , если для любого состояния $s \in S$ и значения временной переменной $t < T$, где $\Delta_S(s) = (s', T)$, каждый α/γ -преемник является одноэлементным множеством.

Одним из возможных подходов к синтезу установочных последовательностей для автоматов с таймаутами является использование конечно автоматных абстракций [5], и в настоящем докладе предлагается подход к построению таких последовательностей для специального класса временных автоматов.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов М.: Наука, 1966. 272 с.
2. Sandberg S. Homing and Synchronizing Sequences // Model-Based Testing of Reactive Systems. Lecture Notes in Computer Science. 2005. Vol. 3472. P. 5–33.
3. Lee D., M. Yannakakis Testing finite-state machines: state identification and verification // IEEE Transactions on Computers. 1994. Vol. 43, Is. 3. P. 306–320.
4. Kushik N., Lopez J., Cavalli A.R., Yevtushenko N. Improving Protocol Passive Testing through 'Gedanken' Experiments with Finite State Machines // Proc. IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS). 2016. P. 315–322.
5. Bresolin D., El-Fakih K., Villa T., Yevtushenko N. Deterministic Timed Finite State Machines: Equivalence Checking and Expressive Power / D. Bresolin, // Proceedings of the Fifth International Symposium on Games, Automata, Logics and Formal Verification (GANDALF 2014) / EPTCS. 2014. Vol. 161. P. 203–216.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No. 19-07-00327\19.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.А. Мануилов, Н.В. Шабалдина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
vamanuilov@gmail.com, NataliaMailBox@mail.ru

В наши дни самообучение с помощью онлайн-курсов с каждым днем набирает большую популярность. Происходит это ввиду того, что доступ к данным курсам можно осуществить в любой момент времени и из любой точки мира, что способствует развитию удаленного обучения. Существует немалое количество платформ, которые предоставляют онлайн-курсы, причем на некоторых из них предоставляется сертификат об успешном прохождении курса. В таких случаях, для адекватной оценки степени усвоения материала учащимся, необходима какая-либо проверка. Зачастую такого рода проверками являются контрольные тесты, но, для некоторых задач, такой подход не дает полной оценки усвоения материала, поэтому также является необходимым решение лабораторных и контрольных задач. Если к курсу имеет доступ небольшое количество студентов, то, вероятнее всего, для преподавателя не будет затруднительным проверка и оценка решения. В случае если это массовый курс, необходима система автоматического оценивания и проверки лабораторных работ.

На кафедре информационных технологий в исследовании дискретных структур разрабатывается массовый открытый онлайн курс (МООК) по тестированию дискретных систем на основе формальных моделей. В качестве формальных моделей рассматривается, прежде всего, модель классического конечного автомата [1]. В результате прохождения данного курса слушатель поймет, что такое тестирование и роль формальных моделей в тестировании, научится применять формальные модели для описания поведения дискретных систем, осуществлять тестирование и анализировать результаты. Разработчики данного МООК полагают, что для проверки того, что слушатель действительно достиг заявленных образовательных результатов, тестовых заданий с вариантами ответов недостаточно. Например, для того, чтобы осуществить тестирование предъявленной системы и проанализировать результат тестирования, нужно построить тест и подать его на систему. При построении полного проверяющего теста методом Василевского множество достижимости и множество различимости могут быть построены по-разному [2]. Получается, чтобы оценить правильность построения этих множеств, нужно проверить, что введенный пользователем ответ удовлетворяет определенным требованиям. Что касается подачи теста на систему, то, поскольку при онлайн-обучении нет возможности предоставить слушателям реальную систему для тестирования, было решено разработать модуль, в котором поведение такой системы будет эмулироваться.

На данный момент разработана демо-версия модуля, эмулирующего процесс тестирования. Данная версия модуля предоставляет следующие возможности: создавать таблицу, предназначенную для ввода значений эталонного автомата, размеры которой динамически меняются, в зависимости от заданного количества входных символов и состояний эталонного автомата, задающего поведение правильно работающей системы; задавать полностью определенный связный конечный автомат в виде таблицы переходов-выходов (эталон); вводить входные тестовые последовательности в количестве, определяемом самим пользователем, и наблюдать выходную реакцию системы; проверять ответ. На основании введенного эталонного автомата генерируется новый автомат с неисправностью перехода или выхода, но с числом состояний не большим, чем в исходном автомате. Этот автомат задает поведение системы, предъявленной для тестирования (заметим, что пользователю для исследования может быть дана как неисправная система, так и система, работающая правильно). Далее пользователю предлагается указать начальное состояние исследуемого автомата и указать количество тестовых последовательностей, которое он построил, например, методом Василевского [2]. Затем происходит эмуляция процесса тестирования: пользователь вводит тестовые последовательности и наблюдает выходные реакции, на основе чего должен сделать вывод об исправности предъявленной ему системы. Разработанная демо-версия данного модуля проверяется, при необходимости будет доработана, а затем внедрена в МООК.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука, 1966. 272 с.
2. Тренькаев В.Н., Прокопенко С.А. Методы синтеза полных проверяющих тестов для детерминированных автоматов: учебно-методическое пособие. Томск, 2004. 35 с.

ENTROPY-BASE DESIGN OF LOW POWER FSMS

L. Kashirova, A. Keevallik

TTU, Tallinn, Estonia
lkashirova@gmail.com

The authors propose an original method of entropy evaluation and variation in the finite state machine (FSM). As has been shown before [1], power consumption in the FSM combinational part depends on the entropy of inputs and outputs of the FSM combinational circuit. Offered work is a development of the result in [1].

Authors consider a higher design level and evaluate entropy in the process of state assignment. That provide an opportunity to control switching frequency inside a future combinational circuit. Also, they have concentrated at practical implementation of the state assignment method for changing the entropy in the designed FSM.

Literature

1. *Keevallik A. Kashirova L.* On the Problem of FSM Power estimation capability // Patmos 98 proceedings. 1998. P. 330–345.

ГРАФОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ В SDN-ТЕХНОЛОГИИ

И.Б. Бурдонов, Н.В. Евтушенко, А.С. Косачев

ИСП РАН, Москва, Россия
{igor, evtushenko, kos}@ispras.ru

Программно-конфигурируемая сеть (SDN) является основной технологией для виртуализации сети, последнее время привлекающей много внимания благодаря предоставляемым ею возможностям. В основе сети лежит связный неориентированный граф физических связей (Resource Network Connectivity Topology, RNCT), вершинами которого являются сетевые коммутаторы (switches) и хосты (hosts). Коммутаторы работают по таблицам правил, которые настраиваются с помощью контроллеров, работающих независимо от сетевого оборудования. Настройка коммутаторов сети предназначена для обеспечения передачи пакетов из начальных хостов в конечные хосты в зависимости от значений параметров пакетов. В настоящем докладе мы исследуем проблемы SDN-технологии на трёх уровнях в зависимости от того, что нам «дано» и что требуется.

1. Тестирование работы сетевого оборудования (коммутаторов) [1, 2]. Дано: настройки (таблицы правил) коммутаторов. Требуется: проверить правильность работы коммутаторов по этим правилам. Такое тестирование осуществляется с помощью посылки пакетов из начальных хостов и наблюдения за их перемещением по сети. Определяются необходимые и достаточные условия возможности тестирования отдельного правила отдельного коммутатора. Такое тестирование основано на гипотезе о том, что правила коммутаторов можно тестировать «по одному», т.е. работа коммутатора по данному правилу не зависит от других правил этого коммутатора и от настройки других коммутаторов. Если есть сомнения в верности этой гипотезы, то такое тестирование можно также понимать как первоначальное «грубое» тестирование настроек коммутаторов. Более слабая гипотеза предполагает, что работа коммутатора зависит только от его настройки, но не зависит от настроек других коммутаторов, что позволяет тестировать коммутаторы «по одному». Определяется необходимое (но, вообще говоря, не достаточное), а также достаточное (но, вообще говоря, не необходимое) условия проверяемости любой настройки коммутатора.

2. Реализуемость заданного множества путей [3]. Дано: множество путей хост-хост. Требуется: проверить реализуемость этого множества на данном графе физических связей при той или иной настройке коммутаторов. Здесь обсуждаются две проблемы, когда при реализации возникают: 1) непредусмотренные, дополнительные пути, 2) «зацикливание» – появление пути с циклом, по которому пакеты бесконечно двигаются. Для этого вводится понятие замкнутости по дугам множества путей и доказывается, что множество реализуемых путей всегда замкнуто и равно замыканию заданного множества путей. Предлагается алгоритм построения замыкания заданного множества путей. Для проверки «зацикливания» предлагается соответствующий алгоритм, работающий на замкнутом множестве путей.

3. Реализуемость заданных связей хост-хост. Дано: множество пар хост-хост. Требуется: проверить реализуемость множества путей, связывающих хосты заданных пар. Естественно, что лучшим вариантом было бы выбирать кратчайшие пути между хостами по графу физических связей. Однако можно показать, что множество кратчайших путей не всегда является замкнутым по дугам и может порождать «зацикливание». Предлагается алгоритм выбора требуемого множества путей на основе остоного дерева и обсуждаются различные варианты оптимизации выбираемого множества путей.

В докладе также обсуждаются и другие графовые задачи, возникающие при реализации SDN-технологии.

Литература

1. Бурдонов И.Б., Евтушенко Н.В., Косачев А.С. Тестирование правил настройки сетевого коммутатора программно-конфигурируемой сети // Труды Института системного программирования РАН. 2018. Т. 30-6. С. 69–88.
2. Yevtushenko N., Burdonov I.B., Kossachev A., López J., Kushik N., Zeglache D. Test Derivation for the Software Defined Networking Platforms: Novel Fault Models and Test Completeness // Proc. of Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018). IEEE Xplore. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524712.
3. Burdonov I.B., Kossachev A., Yevtushenko N., López J., Kushik N., Zeglache D. Verifying SDN Data Path Requests // CoRR abs/1906.03101 (2019).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АДАПТИВНЫХ УСТАНОВОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АВТОМАТОВ*

Е.М. Винарский¹, А.С. Твардовский²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
vinevg2015@gmail.com, tvardal@mail.ru

Конечный автомат [1] представляет собой достаточно простую модель для описания и анализа поведения дискретных систем, в которых могут быть выделены конечные множества состояний, входных и выходных символов. К таким системам можно отнести программное и аппаратное обеспечение телекоммуникационных, управляющих, экспертных и других информационных систем. Последовательности для идентификации состояний конечных автоматов активно используются при тестировании и верификации дискретных систем, позволяя определить текущее состояние автомата по его реакции на установочные или синхронизирующие последовательности [2, 3]. Известно, что для детерминированного полностью определенного сильно связанного приведенного конечного автомата всегда существует безусловная установочная последовательность, длина которой полиномиально зависит от числа состояний автомата. Для конечных автоматов, не обладающих определенными выше свойствами, такая последовательность не всегда существует, а в случае существования может достигать экспоненциальной длины относительно числа состояний [2]. Также известно, что адаптивные установочные последовательности, в которых следующий входной символ зависит от реакции автомата на предыдущие входные символы, существуют значительно чаще и имеют меньшую длину, и интерес представляет выделение классов конечных автоматов, обладающих достаточно короткими установочными последовательностями. В настоящей работе мы экспериментально исследуем частоту существования и длину адаптивных установочных последовательностей для недетерминированных полностью определенных конечных автоматов с различными параметрами.

Под *установочной последовательностью* конечного автомата понимается последовательность входных символов, позволяющая по соответствующей выходной реакции определить следующее состояние автомата. Для проверки существования и построения адаптивной установочной последовательности для слабо инициальных недетерминированных автоматов используется специальный установочный автомат (homing FSM), состояниями которого являются множества подмножеств исходного автомата [4]. Более того, данный подход позволяет строить кратчайшую установочную последовательность, ограничивая поиск максимальной длиной L , для которой строится соответствующий L -установочный автомат; если установочная последовательность длины L не существует, то L можно итеративно увеличивать в ходе поиска.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты по оценке числа состояний в установочном и L -установочном автомате относительно числа состояний исходного конечного автомата. для случайно сгенерированных слабо инициальных недетерминированных автоматов, а также вероятность существования установочных последовательностей. В работе исследуются зависимости длины кратчайшей установочной последовательности от таких параметров слабо инициального автомата как число состояний, входных символов, выходных символов и количества состояний, которые могут быть выбраны в качестве начального состояния.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука, 1966. 272 с.
2. N. Kushik, K. El-Fakih, N. Yevtushenko. Adaptive Homing and Distinguishing Experiments for Nondeterministic Finite State Machines // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). 2013. Vol. 8254. P. 33–48.
3. Sandberg S. Homing and Synchronizing Sequences // Model-Based Testing of Reactive Systems. Lecture Notes in Computer Science. 2005. Vol. 3472. P. 5–33.
4. Vinarskii E., Tvardovskii A., Yevtushenko L., Yevtushenko N. Deriving Adaptive Homing Sequences for Weakly Initialized Nondeterministic FSMs // Proceedings of 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). P. 461–465.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No. 19-07-00327\19.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ МНОГОМОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТНЫХ УРАВНЕНИЙ

Е.В. Широкова¹, Л.Г. Евтушенко², А.В. Лапутенко^{1, 2}, Н.В. Евтушенко^{2, 3}

¹ НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

² НИУ Высшая школа экономики, Москва, Россия

³ Институт системного программирования РАН, Москва, Россия
k@shir.su, levushenko@hse.ru, laputenko.av@gmail.com, evtushenko@ispras.ru

При описании поведения многомодульных систем, в которых обработка входного воздействия производится в течение одного такта времени одновременно всеми компонентами, используется операция синхронной композиции. В этом случае в этот такт время производится внешний выходной сигнал и согласованные внутренние сигналы. Итеративный подход к оптимизации компонентов таких многомодульных систем широко используется на практике. В этом случае компоненты оптимизируются до тех пор, пока дальнейшая оптимизация невозможна или истекло время, допустимое для оптимизации. Если поведение компонентов описано конечными автоматами (или системами переходов с конечным числом состояний), то в общем случае для оптимизации компонента синхронной композиции можно использовать решение автоматного уравнения вида $Context \bullet X \cong Context \bullet B$, где символ « \bullet » означает операцию синхронной композиции [1, 2]. В этом случае неизвестное X соответствует оптимизируемому компоненту; автомат $Context$ описывает совместное поведение остальных компонентов и часто называется *контекстом*. Уравнение имеет наибольшее решение, обычно представляемое в виде недетерминированного автомата, из которого можно выделить оптимальную реализацию (согласно интересующему нас критерию). Однако сложность такого подхода очень высокая: основные проблемы заключаются в построении совместного поведения компонентов, сложности решения автоматного уравнения и выделения «подходящей» редукции из наибольшего решения. Поэтому достаточно часто для оптимизации компонента используется так называемый «оконный подход», т.е. в многокомпонентной системе выделяется «окно», для которого автоматное уравнение решается достаточно просто. Несмотря на большое количество работ по выделению «окон» различной структуры, ссылки на которые можно найти в [2, 3], на данный момент практически не известно, какого вида «окна» оказываются наиболее эффективными для оптимизации компонентов. Наиболее простыми композициями (для решения автоматных уравнений) являются композиции без обратных связей и ветвлений и так называемые «топологии контроллера», поэтому мы предлагаем такие «окна» и рассматривать при оптимизации компонентов.

Мы предлагаем алгоритм решения автоматного уравнения для бинарной автоматной композиции без обратных связей для компонента, все выходные каналы которого доступны для наблюдения. Данный алгоритм является адаптацией общего алгоритма решения автоматного уравнения, и вообще говоря, имеет полиномиальную сложность относительно размеров компонентов. Полученное в результате достаточно общее решение уравнения является детерминированным частичным автоматом, который может быть получен различными способами. Использование вместо оригинального компонента частичного сетевого эквивалента в ряде случаев позволяет упростить соответствующую логическую схему, что, впоследствии при реализации логической схемы в виде программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), дает возможность повысить частоту работы. Полученные экспериментальные результаты по оптимизации компонентов автоматных сетей на основе выделения описанных выше «окон» будут приведены в докладе.

Литература

1. Евтушенко Н.В., Рекун М.В., Тихомирова С.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 2. Решение автоматных уравнений: Учебное пособие. Томск: Томский государственный университет, 2009. 111 с.
2. Villa T., Yevtushenko N., Brayton R.K., Mishchenko A., Petrenko A., Sangiovanni-Vincentelli A.L. The Problem of the Unknown Component: from Theory to Applications. Springer, 2011. 323 с.
3. Mishchenko A., Brayton R.K. SAT-based complete don't-care computation for network optimization // in The Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference. 2005. Vol. 01. P. 412–417.

СТРУКТУРА СХЕМЫ КОРРЕКЦИИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПО КОДУ ПАРИТЕТА

В.В. Сапожников¹, Вл.В. Сапожников¹, Д.В. Ефанов^{2,3}

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

²ООО «ЛокоТех-Сигнал», Москва, Россия

³Российский университет транспорта, Москва, Россия

port.at.pgups@gmail.com, at.pgups@gmail.com, TrES-4b@yandex.ru

При разработке надежных и безопасных систем управления широко применяются методы обнаружения и коррекции ошибок [1]. Одним из подходов к построению устройств автоматики является маскировка ошибок, что зачастую реализуется путем использования многократного резервирования и последующего выбора большинства сигналов. Например, одной из самых «популярных» является структура коррекции сигналов по мажоритарному принципу, в которой используется три копии исходного объекта, одноименные выходы которых подключаются на входы мажоритарных элементов (элементов выбора большинства по принципу «2 из 3») [2, 3]. Использование такой структуры на практике приводит к существенному усложнению конечного устройства. Авторами данной работы предложена новая структура схемы коррекции сигналов, которая в своем составе имеет только одну копию исходного объекта, а также снабжается устройствами контроля вычислений и коррекции сигналов (рис. 1). Новая структура реализуется за счет использования известного метода логического дополнения при синтезе систем встроенного контроля [4, 5].

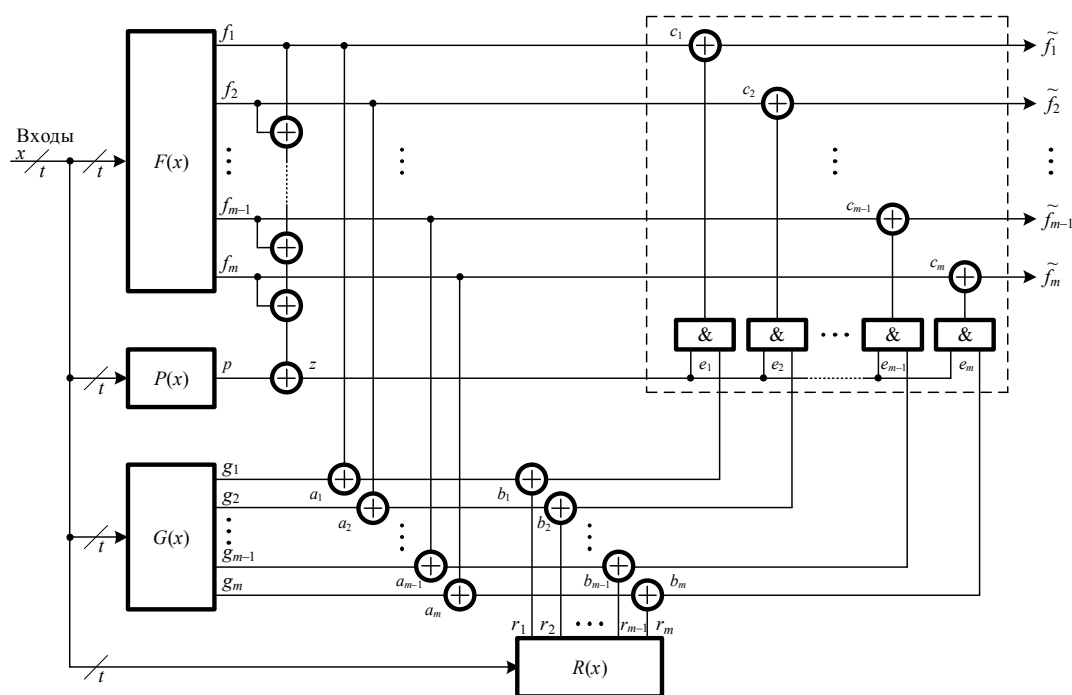


Рис. 1. Структура схемы коррекции сигналов

В предлагаемой структуре схемы коррекции сигналов исходный объект $F(x)$ снабжается специализированной схемой контроля вычислений и коррекции сигналов, включающей в себя блоки формирования функции паритета ($P(x)$), дополнения ($G(x)$), вычисления функций коррекции ($R(x)$), каскады элементов сравнения, принятия решения и коррекции значений исходных функций. Логическое дополнение используется в предложенной структуре на уровне подсхемы установления ошибки на выходах блока $F(x)$ и подсхемы коррекции. В предложенной структуре ложная коррекция сигналов возможна только из-за неисправностей на входах/выходах XOR 's c_i . Этот недостаток структуры, однако, устраняется путем использования высоконадежных элементов сложения по модулю два в выходном каскаде коррекции.

В ходе исследований новой структуры проведен ряд экспериментов по анализу структурной избыточности схем коррекции для контрольных комбинационных схем MCNC Benchmarks [6], а также по оценке вероятности правильной коррекции сигналов. Для 17 из 22 рассмотренных комбинационных схем получены значения показателей структурной избыточности, меньшие чем при использовании мажоритарной схемы коррекции (в среднем получено значение показателя отношения площадей схем коррекции $\mu=86,916\%$). Вероятности коррекции ошибок для структур каждого из рассматриваемых комбинационных устройств были

получены большими, чем 0,9, а для ряда схем – свыше $p_c=0,98$. Среднее значение анализируемой величины – $p_c=0,95421$, что свидетельствует о высокой эффективности самих схем коррекции для представленных контрольных комбинационных схем.

В заключение следует отметить не только эффективность предлагаемой структуры, но и то, что использование логического дополнения при синтезе отказоустойчивых структур открывает новые пути реализации схем коррекции с уменьшенной избыточностью.

Литература

1. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. Под ред. Вл. В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1995. 272 с.
2. Степковский А.Л., Тельпухов Д.В., Жукова Т.Д., Гуров С.И., Соловьев Р.А. Методы синтеза сбоеустойчивых комбинационных КМОП схем, обеспечивающих автоматическое исправление ошибок // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 7 (192). С. 197–210. DOI 10.23683/2311-3103-2017-7-197-210.
3. Sogotonyan E.S. Self-Correction Fault-Tolerant Systems. Preprint, 2018. 30 p.
4. Ефанов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Пивоваров Д.В. Обнаружение неисправностей в комбинационных схемах на основе самодвойственного дополнения до равновесных кодов // Труды Института системного программирования РАН. 2019. Т. 31, № 1. С. 115–132. DOI: 10.15514/ISPRAS-2019-31(1)-8.
5. Efanov D.V., Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Pivovarov D.V. Synthesis of Built-in Self-Test Control Circuits Based on the Method of Boolean Complement to Constant-Weight 1-out-of-n Codes // Automatic Control and Computer Sciences. 2019. Vol. 53, is. 6. P. 481–491. DOI: 10.3103/S014641161906004X.
6. Collection of Digital Design Benchmarks Режим доступа: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks/>.

MATHEMATICAL MODELING AND COMPUTER ANALYSIS OF LINE IMAGES

D.A. Nikitin, S.P. Trofimov

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia
 yrtimdnitikin@gmail.com, s.p.trofimov@urfu.ru

A special case of generalized polygons is linear transitive patterns defined on families of parallel equidistant lines. We propose a parameterization of such patterns using a finite set of integer and decimal data [1]. Analogues of the patterns are dotted regular grids on the plane. Proof of the theorem about the minimum representation of a pattern uses properties of such grids [2]. When overlaying multiple patterns, line images appear with no apparent regularity. For the synthesis and construction of these patterns according to given parameters on a limited area, we will also present an algorithm. A set of classes describing lines, a family of lines, and other parameters of the proposed model is used to describe patterns. The inverse problem of decomposing an image into combining several patterns is considered. For this purpose, we propose the method of integration on patterns.

The proposed model can be used to describe various entities with a repeating structure, such as crystal lattices, graphene, Penrose mosaic.

Replacing equidistant lines with a set of parallel lines with a decreasing distance between them leads to a new class of fractal sets. It is possible to replace the family of parallel lines with a one-parameter family of curved lines. If lines are endowed with properties of color, thickness and style, then it becomes possible to parameterize a wide class of ornamental images.

The result of the work is the developed software package that allows the synthesis and analysis of line images on a plane.

An example of an elementary line pattern is shown in Figure 1. When presenting several such patterns, a more complex structure is obtained, which is called a regular pattern, an example of which is shown in Figure 2.

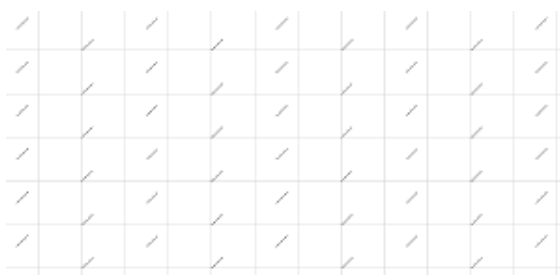


Fig. 1. An example of an elementary pattern

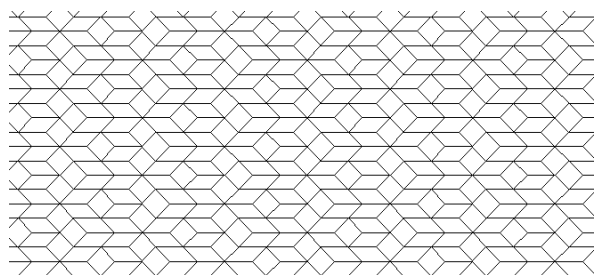


Fig. 2. A part of a regular pattern obtained by combining several elementary patterns

Literature

1. *Lisienko O.G., Trofimova S.P., Trofimov N.G., Druzhinina P.A.* Modeling complex probabilistic systems: textbook. Arc. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2011. 200 p.
2. *Vodopyanov I.O., Trofimov S.P., Butsyryn I.A.* Modeling and pattern recognition on the plane // Scientific. tr Int. Svyaz-PROM 2008 scientific and practical conference within the framework of the V Euro-Asian international forum Svyaz-PROMEXPO 2008. Ekaterinburg: Real-Media Company, 2008. P. 302–304.

КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНЫЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ В ПРОСТРАНСТВАХ РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Ю.Г. Медведев

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

В работе исследуется поведение асинхронной [1] и синхронной [2] клеточно-автоматных моделей диффузии с целочисленным алфавитом состояний клетки в одномерном, двумерном и трехмерном пространствах. Одна и та же одномерная задача промоделирована с помощью одномерной, двумерной и трехмерной моделей. Приведено сравнение результатов. Одна и та же двумерная задача промоделирована с помощью двумерной и трехмерной моделей. Также приведено сравнение результатов.

Начальная концентрация в выбранной для анализа одномерной задаче распределена в виде одномерной дельта-функции [3], так как задача в такой постановке имеет аналитическое решение. В аналитическом виде значение концентрации вдоль всей оси, кроме начала координат, равно нулю. В нулевой точке концентрация полагается бесконечной. Интеграл концентрации вдоль оси равен единице. Размер клеточного массива, выбранный для проведения компьютерных экспериментов, составил 1001 клетку в каждом измерении. Слои (в трехмерной модели), строки (в двумерной и трехмерной моделях) и столбцы (во всех трех моделях) занумерованы индексами от -500 до $+500$. В одномерной модели начальное распределение концентрации представлено в клетке с нулевым индексом числом 2^{10} (выбранным за единицу концентрации, используемую в аналитическом представлении) и нулевыми значениями всех остальных клеток. В двумерной модели столбец с индексом ноль заполнен значениями 2^{10} во всех строках, а все остальные столбцы – нулями. В трехмерной модели все клетки столбца с нулевым индексом заполнены значениями 2^{10} во всех строках и слоях, а клетки во всех остальных слоях принимают нулевые значения.

Во всех трех случаях диффузионный процесс ожидаемо идет симметрично в двух противоположных направлениях, и после $D * t$ итераций, где D – размерность пространства, а t – время протекания процесса, распределение концентрации вдоль направления, соответствующего изменению индекса столбцов в клеточном массиве, совпадает с функцией Грина, являющейся решением одномерного уравнения диффузии для дельта-функции.

В двумерной задаче начальная концентрация представляет собой двумерную дельта-функцию. В аналитическом виде концентрация принимает нулевое значение вдоль обеих координатных осей, кроме центра координатной плоскости, в котором она бесконечна. Интеграл концентрации на плоскости равен единице. Размер клеточного массива, как и в предыдущем примере, выбран равным 1001 клетке в каждом измерении. В двумерной модели начальное распределение концентрации представлено в клетке с нулевыми индексами столбца и строки числом 2^{10} и нулевыми значениями во всех остальных клетках. В трехмерной модели в каждом слое нулевые столбец и строка имеют значение 2^{10} , а все остальные клетки – нулевые значения.

Диффузионный процесс как в двумерной, так и в каждом слое трехмерной модели, после $D * t$ итераций приводит к распределению концентрации в клеточном массиве на плоскости, совпадающему с функцией Грина, являющейся решением двумерного уравнения диффузии для дельта-функции.

Итак, установлено следующее: 1. Результаты моделирования для синхронной и асинхронной клеточно-автоматных моделей совпадают. 2. Количество итераций необходимо нормировать на размерность пространства. 3. Результаты моделирования совпадают с соответствующими аналитическими решениями.

Литература

1. *Medvedev Yu.* Multi-particle Cellular-Automata Models for Diffusion Simulation // LNCS, Springer, 2010. Vol. 6083. P. 204–211.
2. *Kireeva A, Sabelfeld K., Kireev S.* Synchronous multi-particle cellular automaton model of diffusion with self-annihilation // LNCS, Springer, 2019. Vol. 11657. P. 345–359.
3. *Vrentas J.S., Vrentas C.M.* Diffusion and Mass Transfer. CRC Press, 2012. 644 p.

О СИНТЕЗЕ РАЗЛИЧАЮЩИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ВХОДО-ВЫХОДНЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ

И.Б. Бурдонов, Н.В. Евтушенко, А.С. Косачев

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия
{igor, evtushenko, kos}@ispras.ru

Функциональные и нефункциональные требования для (компонентов) управляющих систем достаточно часто проверяется с использованием так называемого мутационного тестирования. В спецификацию системы вносится ряд (критических) мутаций и для каждой мутации строится входная последовательность, различающая спецификацию и мутант, если такая последовательность существует. Иными словами, понятие различимости дает возможность формально определить понятие соответствия проверяемой реализации спецификации. Различающие последовательности хорошо исследованы для детерминированных и полностью определенных автоматов, когда в каждом состоянии на каждый входной символ в системе существует соответствующий выходной символ, однако компоненты управляющих систем часто могут быть описаны только частично и иметь недетерминированное поведение. Более того, модель конечного автомата, в которой каждый входной символ сопровождается обязательно выходным символом, является в ряде случаев ограниченной, поскольку проверяемая система может выдавать выходные символы (или последовательности выходных символов) только на последовательность входных воздействий, т.е. модель входо-выходного полуавтомата [1] в ряде случаев является более адекватной при описании поведения (компонентов) управляющих систем. Однако для этой модели исследований по различающим последовательностям и их свойствам существует значительно меньше.

В настоящем докладе мы исследуем два отношения совместимости / различимости между возможно частичными ненаблюдаемыми входо-выходными полуавтоматами. Отношение квази-редукции требует [2], чтобы конформный спецификации входо-выходными полуавтомат выполнял на определенных входных последовательностях только то, что предписано спецификацией. Мы показываем, что для наблюдаемых входо-выходных полуавтоматов длина различающей последовательности полиномиальна относительно числа состояний полуавтоматов, в то время как для ненаблюдаемой спецификации длина различающей последовательности может достигать экспоненциальной величины. Вторым рассматриваемым отношением конформности / различимости является отношение неразделимости / делимости, когда не существует / существует разделяющая последовательность для двух входо-выходных полуавтоматов, при однократной подаче которой можно однозначно распознать, какой из двух полуавтоматов представлен для эксперимента. Мы расширяем класс рассматриваемых входо-выходных полуавтоматов по сравнению с работой [3] и показываем, что длина разделяющей последовательности может достигать экспоненциальной величины относительно числа состояний полуавтомата-спецификации.

Литература

1. *Kushik N., Yevtushenko N., Burdonov I., Kossachev A.* Synchronizing and Homing Experiments for Input/Output Automata // System Informatics. 2017. № 10. P. 1–10.
2. *Burdonov I., Kossachev S., Yevtushenko N., Demakov A.* Evaluating the length of distinguishing sequences for nondeterministic Input/Output automata // Proceedings of 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). P. 449–453.
3. *Бурдонов И.Б., Евтушенко Н.В., Косачев А.С.* О различимости систем переходов с недетерминированным поведением // Труды XXI Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети интернет». 2019. С. 177–187.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

И.А. Воронин¹, О.А. Доценко^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
woronw@inbox.ru

В настоящее время в радиоэлектронике, радиотехнике, а также вычислительной технике широко применяются ферриты. Ферритами называются соединения оксида Fe_2O_3 с основными оксидами других основных металлов. Одним из наиболее перспективных методов синтеза наноразмерных ферритовых порошков является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) [1, 2].

На данный момент отсутствует адекватная математическая модель, позволяющая точно описать физические и химические процессы, протекающие во время СВС ферритов. Следовательно, отсутствует

возможность прогноза результатов в случае проведения эксперимента по получению новых ферритовых материалов данным методом.

Волна горения представляет собой самоорганизованный комплекс, в котором локализованная в слое химическая реакция, перемещаясь в пространстве реагентов, переводит их в продукты горения. Простейшая адиабатическая волна горения состоит из двух зон: предпламенной зоны и зоны реакции. В первой зоне активно протекают процессы теплопередачи и массопередачи. Во второй волне протекают химические реакции, и происходит активное химическое тепловыделение [3].

Моделирование процесса планируется проводить с использованием клеточных автоматов (КА), представляющих из себя абстрактную дискретную динамическую систему, состоящую из набора узлов, образующих решетку. Основными особенностями КА, обуславливающими их выбор, являются локальность правил и дискретность переменных. Это позволяет естественным образом учитывать внутренние шумы и флуктуации системы [4, 5].

На текущем этапе работы имеются модели следующих процессов: теплоперенос, диффузия, горение. Распространение тепла моделируется исходя из стремления системы установить среднюю температуру в объеме. В качестве КА-модели диффузии взята наивная диффузия, представляющая процесс диффузии непосредственно как блуждание частиц в стремлении выровнять концентрацию вещества в пространстве. По мере прохождения волны горения по объему реагентов их преобразования в продукты реакции будут проходить в зависимости от расположения клетки и её соседей, их температурных показателей и скорости распространения волны горения.

Литература

1. Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.Ф. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. 471 с.
2. Бабич Э.А. Технология производства ферритовых изделий. М.: Высшая школа, 1978. 224 с.
3. Мержанов А.Г., Мукасян А.С. Твердопламенное горение М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. 336 с., ил.
4. В.К. Ванаг. Исследование пространственно распределенных динамических систем методами вероятностного клеточного автомата // Успехи физических наук. Обзоры актуальных проблем, 1999. Т. 169, № 5. С. 481–505.
5. Аладьев В.З. Классические однородные структуры. Клеточные автоматы. Fultus Books, 2009. 535 с.

Секция 7. ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПАРАТОРА ПРИ ОЦИФРОВКЕ СИГНАЛОВ ВЕТРОВОГО ЛИДАРА

А.М. Шерстобитов

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

На сегодняшний день уже разработан ряд методов и алгоритмов [1–3], позволяющих оценивать радиальную скорость ветра (РС) из сигналов микроимпульсных когерентных доплеровских лидаров, тем не менее задача восстановления профиля РС в реальном времени требует большого количества вычислительных ресурсов и дорогих высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) работающих на частотах сотни Меггерц в связке с вычислительной системой, реализуемой обычно на сигнальном процессоре [4], или вентиляционной матрице (ПЛИС) [3]. С увеличением разрядности АЦП, оцифровывающего лидарный сигнал, существенно увеличивается его стоимость, а также требуемые ресурсы, необходимые для обработки данных.

В работе оценивается погрешность лидарной оценки РС при низкоразрядной оцифровке. С данной целью на основании простых статистических соотношений [5], в предположении нормального распределения шумов, теоретически оценивается зависимость погрешности измеряемой лидаром РС в зависимости от разрядности лидарного сигнала и прочих параметров. Для проверки теоретических оценок в работе приводятся: численное моделирование лидарного сигнала с использованием модели из монографии [1]; эксперименты с «загрублением» экспериментальных данных лидаров Лаборатории распространения волн ИОА СО РАН (лидар ЛРВ рис. 1), и лидара Исследовательского Института Электронных Технологий (Чженчжоу, Китай, лидар ЧИИЭТ рис. 1).

Основной результат работы – показана достаточность однобитного АЦП (компаратора) при оценивании РС из лидарного сигнала. Это подтверждается малыми (0,12 м/с, рис.1) среднеквадратичными отклонениями (СКО) модельных и «загрубленных» реальных оценок РС при ~1000 аккумулируемых посылок зондирующих импульсов, использовании 64 точечного преобразования Фурье при построении спектра мощности, и ОСШ 0,05–0,15 (ОСШ измерялось для исходной разрядности).

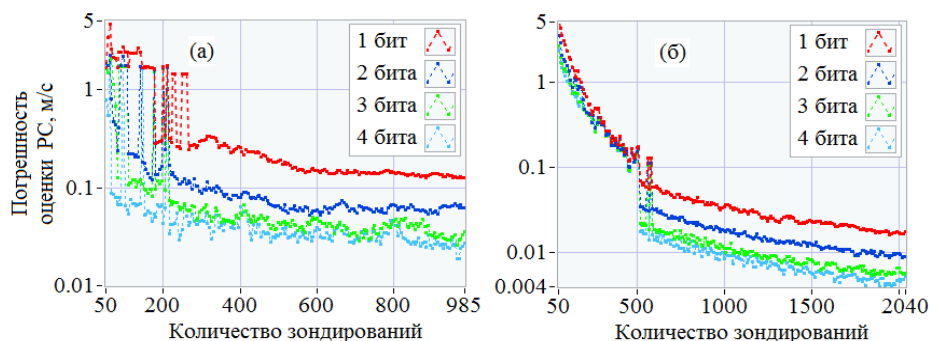


Рис. 1. Зависимости СКО оценок РС сигналов с уменьшенной до 1,2,3 и 4 бит разрядностью (число «незагрубленных» разрядов лидара ЛРВ ~6 бит, лидара ЧИИЭТ ~7 бит)

Литература

1. Смалыхо И.Н., Банх В.А. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск: ИОА СО РАН, 2013. 304 с.
2. Frehlich R.G., Yadlowsky M.J. Performance of Mean-Frequency Estimators for Doppler Radar and Lidar // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 1994. Vol. 11. P. 1217.
3. Abdelazim S. A Hardware Implemented Autocorrelation Technique for Estimating Power Spectral Density for Processing Signals from a Doppler Wind Lidar System // Sensors 2018. № 18. P. 4170.
4. Kameyama S. Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing // APPLIED OPTICS. 2007. Vol. 46, № 11.
5. Improving ADC resolution by oversampling and averaging. URL: <https://www.cypress.com/file/236481/download> (дата обращения: 15.08.2019).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОВЕРКИ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ

А.С. Камкин^{1, 2, 3, 4}, М.С. Лебедев¹, С.А. Смолов¹

¹Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, Россия

⁴Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
{kamkin, lebedev, smolov}@ispras.ru

В настоящее время одним из трендов в области проектирования цифровой микроэлектронной аппаратуры является использование открытых архитектур и инструментов. Аналогичная тенденция наблюдается в области функциональной верификации. Актуальной задачей является оценка возможностей открытых инструментов верификации на тестовых наборах (*benchmarks*) и примерах, значимых для индустрии. В работе проведено экспериментальное сравнение инструментов формальной верификации Verilog-описаний модулей цифровой аппаратуры. Рассмотренные средства используют подход к верификации на основе *проверки моделей* (model checking) [1]. Данный подход позволяет автоматически устанавливать соответствие целевой системы проверяемым условиям (*спецификациям*). Преимуществом проверки моделей является автоматическая генерация *контрпримеров* – последовательностей входных воздействий, приводящих целевую систему в состояние, противоречащее спецификациям.

Одним из классических подходов к формальной верификации Verilog-описаний цифровой аппаратуры является их *синтез* в представления уровня *логических вентилях* (netlist) и их последующая проверка. Эта идея реализована в инструментах SymbiYosys [2] и Verilog2SMV [3], основанных на открытой среде синтеза Yosys [4]. Другой подход основан на техниках верификации *программного обеспечения*. К инструментам данной категории относится EBMC [5]. Наконец, ряд инструментов транслирует код описаний цифровой аппаратуры во входные форматы внешних средств проверки моделей (в частности, NuSMV [6]). Представителями этой категории являются Retrascope [7] и Verilog2SMV. Все рассмотренные инструменты имеют открытый исходный код (кроме EBMC, который предоставляется пользователям только в скомпилированном виде). В качестве входных данных инструменты принимают на вход Verilog-описания цифровой аппаратуры и спецификации, использующие подмножество конструкций языка SystemVerilog.

В рамках данной работы был проведен ряд экспериментов, нацеленных на сравнение возможностей инструментов по поддержке синтаксических конструкций языка Verilog и проверке пользовательских SystemVerilog-спецификаций. В качестве основного метода проверки была выбрана *ограниченная проверка моделей* (bounded model checking). Временной лимит для проверки одного свойства был установлен в 1 час, граница проверки принята равной 100. Был использован общий набор тестовых примеров hdl-benchmarks [8], включающий открытые наборы Texas-97, VCEGAR и Verilog2SMV. Было установлено, что инструменты EBMC, SymbiYosys и Verilog2SMV имеют существенные ограничения по поддерживаемым синтаксическим конструкциям языка Verilog. Эксперименты по проверке свойств показали, что инструмент Retrascope обнаружил наибольшее количество ошибок в коде Verilog-модулей, а также сгенерировал наибольшее количество контрпримеров, однако уступил EBMC и SymbiYosys в производительности.

Литература

1. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д.А. Верификация моделей программ. Model Checking. М.: МЦНМО, 2002. 416 с.
2. Инструмент SymbiYosys. URL: <https://github.com/YosysHQ/SymbiYosys>
3. Инструмент Verilog2SMV. URL: <https://es-static.fbk.eu/tools/verilog2smv>
4. Инструмент Yosys. URL: <http://www.clifford.at/yosys>
5. Инструмент EBMC. URL: <http://www.cprover.org/ebmc>
6. Инструмент NuSMV. URL: <https://nuxmv.fbk.eu>
7. Инструмент Retrascope. URL: <https://forge.ispras.ru/projects/retrascope>
8. Набор тестовых примеров. URL: [hdl-benchmarks. https://github.com/ispras/hdl-benchmarks](https://github.com/ispras/hdl-benchmarks)

ПОИСК КОНФЛИКТОВ ДОСТУПА К ДАННЫМ В HDL-ОПИСАНИЯХ

А.С. Камкин^{1, 2, 3, 4}, М.С. Лебедев¹, С.А. Смолов¹

¹ Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

⁴ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
{kamkin, lebedev, smolov}@ispras.ru

Описания современных цифровых устройств на языках Verilog и VHDL (HDL-описания) состоят из большого количества модулей и процессов, часто работающих на общем множестве внутренних переменных. Из-за этого могут возникать *конфликты*, то есть некорректные обращения разных процессов к одним и тем же данным. В данной работе представлен метод извлечения потенциальных конфликтов из HDL-описаний аппаратуры и формальной верификации таких конфликтов с помощью *проверки моделей* [1].

В работе рассматриваются *конфликты доступа к данным*, похожие на конфликты в конвейере микропроцессора [2]: 1) *чтение-запись* (*read-write*, RW) - переменная читается и записывается разными процессами одновременно; 2) *запись-запись* (*write-write*, WW) - переменная записывается разными процессами одновременно; 3) *запись-чтение-запись* (*write-read-write*, WRW) – предполагается, что переменная должна быть прочитана между двумя записями; 4) *неопределенность* (*undefined*, UNDEF) – переменная читается до инициализации.

Представленный метод состоит из следующих шагов: 1) построение *графа потока управления* (*Control Flow Graph*, CFG); 2) трансформация полученного графа в *решающую диаграмму охраняемых действий* (*Guarded Actions Decision Diagram*, GADD); 3) построение инвариантов процессов и извлечение выражений для конфликтов; 4) трансляция инвариантов и выражений в формат инструмента проверки моделей nuXmv [3]; 5) анализ конфликтов на достижимость и генерация контрпримеров. Все описанные шаги выполняются автоматически.

Выражения для конфликтов представляют собой формулы линейной темпоральной логики (Linear Temporal Logic, LTL) [4], составленные из условий *определения* и *использования* переменных разными процессами в соответствии с описанными выше типами конфликтов.

Описываемый метод был реализован в инструменте Retrascope [5] и применен к ряду описаний модулей цифровой аппаратуры на языке Verilog, взятых из наборов Texas-97, VCEGAR и Verilog2SMV-VIS [6], а также к описанию модели 16-битного процессора MIPS (всего 54 описания). Было найдено несколько сотен конфликтов различных типов, однако, многие конфликты (особенно RW) не являлись ошибками, а, скорее, свидетельствовали о плохом стиле кодирования HDL-описаний.

Литература

1. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д.А. Верификация моделей программ. Model Checking. М.: МЦНМО, 2002. 416 с.
2. S. Tahar, R. Kumar. Formal Verification of Pipeline Conflicts in RISC Processors // Proceedings of the European Design Automation Conference (EURO-DAC). 1994. P. 285–289.
3. Инструмент проверки моделей nuXmv. URL: <https://nuxmv.fbk.eu>
4. Pnueli A. The temporal logic of programs // 18th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. 1977. Vol. 00. С. 46–57.
5. Инструмент Retrascope. URL: <https://forge.ispras.ru/projects/retrascope>
6. Набор HDL-описаний. URL: <https://github.com/ispras/hdl-benchmarks>

ВЕРИФИКАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ТРАНЗИСТОРНОМ УРОВНЕ

Д.И. Черемисинов, Л.Д. Черемисинова

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

Процесс подготовки производства современной СБИС, содержащей более сотни млн. транзисторов, стоит очень дорого: только изготовление набора фотошаблонов требует затрат в несколько миллионов долларов. Поэтому перед изготовлением фотошаблонов обязательно выполняется верификация топологии СБИС (LVS – layout versus schematic verification). Важными инструментами автоматизированного проектирования СБИС, позволяющими снизить трудоемкость верификации топологии электрической схемы, являются средства построения иерархического структурного описания на уровне логических элементов по плоскому структурному описанию на транзисторном уровне. Операция, в результате которой из плоской

транзисторной схемы строится иерархическая транзисторная, называется декомпиляцией. Декомпиляция транзисторной схемы является мощным инструментом верификации топологии (позволяя существенно снизить время ее выполнения), а также основой логического перепроектирования (reengineering) интегральных схем. Перепроектирование, в отличие от оригинального проектирования, предполагает проектирование новой схемы устройства (в другом технологическом базисе) по уже существующей схеме.

В том случае, когда технологическая библиотека логических элементов, на базе которой была построена декомпилируемая транзисторная схема, не известна, множество транзисторов в процессе декомпиляции разбивается на группы транзисторов [1], связанных по постоянному току. Среди них распознаются и классифицируются топологически эквивалентные подсхемы: 1) соответствующие КМОП структурам, реализующим одинаковые функции; 2) псевдоэлементам – часто встречающимся фрагментам транзисторных подсхем, функции которых не удается установить. Кроме того находятся передаточные элементы и могут оставаться нераспознанные одиночные транзисторы. Выделенные элементы формируют библиотеку подсхем второго уровня в искомой иерархической транзисторной схеме. Исходная плоская и результирующая иерархическая транзисторные схемы представляются в формате проектирования SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) для обмена электрическими схемами [2].

В работе рассматривается задача проверки правильности выполнения этапа декомпиляции транзисторной схемы, которая состоит в установлении эквивалентности исходной плоской и полученной иерархической транзисторных схем, т.е. решается задача проверки изоморфности двух транзисторных КМОП схем, заданных в формате SPICE [2]. Проверка может быть выполнена инструментами автоматизированного проектирования, решающими задачу сравнения схем, такими как Mentor Graphics Calibre nmLVS, Guardian LVS, при соответствующем преобразовании форматов представления схем. Эти инструменты входят в состав дорогостоящих промышленных САПР проектирования СБИС.

В настоящей работе представляется программа верификации транзисторных схем, входным языком представления которых является SPICE. Программа устанавливает, совпадают ли функционально две транзисторные схемы, и если нет, то указываются различия. Подход, положенный в основу этой программы, состоит в том, что задача сравнения транзисторных схем рассматривается как частный случай проблемы изоморфизма графов. В формате SPICE электрические схемы состоят из элементов, которые соединены друг с другом цепями. Формальной моделью описания транзисторной схемы является помеченный неориентированный двудольный граф: одну долю составляют выводы элементов и порты схемы, а другую цепи – соединения между выводами. Реализованный программой подход к установлению эквивалентности пары транзисторных схем, состоит в сведении этой задачи к проблеме проверки изоморфизма графов, в которые преобразуются сравниваемые схемы. Учет особенностей графов, представляющих транзисторные схемы, позволил разработать программу, которая производит проверку идентичности пары транзисторных схем за линейное время от размеров их описаний.

Разработанная программа верификации была протестирована на практических схемах, содержащих до 100 тысяч транзисторов. Для таких пар схем время выполнения не превышало одной минуты на компьютере с четырёхядерным процессором Intel i5-4460 3.20GHz и оперативной памятью 16,0 Гб.

Литература

7. Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д. Извлечение сети логических элементов из КМОП схемы транзисторного уровня // Микроэлектроника. 2019. № 3 (48). С. 224–234.
8. Baker R.J. CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation (Third Edition). Wiley-IEEE Press, 2010. 1214 p.

АППАРАТНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Д.А. Городецкий

Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
danila.gorodecky@gmail.com

В докладе предлагается подход к проектированию элементов, выполняющих арифметические операции для целых чисел и чисел с плавающей запятой. Подход основан на двух этапах.

На одном этапе осуществляется разбиение входных данных (т.е. чисел) на наборы меньших разрядностей. Разрядность наборов, на которые разбиваются числа, зависит от технических особенностей элементной базы, которую планируется использовать для аппаратной реализации алгоритма вычисления. Например, если проектируется устройство для реализации на FPGA, и базовые вычислительные ячейки – таблицы состояний (LUTs) – имеют четыре входа, то числа целесообразно разбивать на 4-битные наборы. Если проектируется устройство для реализации на заказной схеме (ASIC), состоящей из библиотечных элементов, то разрядность наборов следует подбирать под технические особенности библиотеки элементов ASIC.

Экспериментальные исследования показали, что при реализации умножителей двух натуральных чисел, разрядность которых не превышает 32 бита, наиболее эффективным (с точки зрения быстродействия) образом является разбиение чисел на 4-битные наборы [1]. При реализации аппаратного алгоритма нахождения остатка от деления натуральных чисел эффективным (с точки зрения быстродействия и аппаратных затрат) является разделение делимого (разрядность которого может достигать более 4 тысяч бит) на наборы, разрядность которых не превышает 12 бит [2].

В зависимости от арифметической операции, наборы, на которые разбиваются входные числа, рассматриваются как друг от друга независимые операнды, над которыми отдельно или попарно производится соответствующие арифметические операции. Например, при рассмотрении двухоперандной операции умножения 8-битных чисел $A \cdot B = R$, каждое из чисел разбивается на два 4-битных операнда, т.е. $A = (A_2, A_1)$ и $B = (B_2, B_1)$, где $A_1 = (a_4, a_3, a_2, a_1)$, $A_2 = (a_8, a_7, a_6, a_5)$, $B_1 = (b_4, b_3, b_2, b_1)$ и $B_2 = (b_8, b_7, b_6, b_5)$. В этом случае $A \cdot B = A_1 \cdot B_1 + A_1 \cdot B_2 \cdot 2^4 + A_2 \cdot B_1 \cdot 2^4 + A_2 \cdot B_2 \cdot 2^8 = R_1 + 2^4 \cdot R_2 + 2^4 \cdot R_3 + 2^8 \cdot R_4$. Рассматривая операцию нахождения остатка от деления 8-битного числа X на число 13, где $X = (X_2, X_1)$, $X_1 = (x_4, x_3, x_2, x_1)$ и $X_2 = (x_8, x_7, x_6, x_5)$, результат вычислений может быть представлен следующим образом: $X(mod\ 13) = X_1(mod\ 13) + (2^4 \cdot X_2)(mod\ 13) = X_1(mod\ 13) + (3 \cdot X_2)(mod\ 13) = (S_1 + S_2)(mod\ 13)$.

Суть другого этапа предлагаемого подхода состоит в рассмотрении промежуточных результатов вычислений в качестве систем булевых функций с целью минимизации числа слагаемых (например, конъюнкций) или построения оптимальной диаграммы двоичного выбора. Для приведенных примеров умножения и нахождения остатка от деления составляются системы булевых функций для промежуточных результатов R_1, R_2, R_3, R_4, S_1 и S_2 .

На этом этапе является целесообразным учитывать свойства булевых функций, которые описывают рассматриваемую арифметическую операцию. Например, применение свойств симметрии булевых функций при рассмотрении коммутативных арифметических операций позволяет до трех раз сократить число библиотечных элементов, основанных на использовании нормальных форм (дизъюнктивных, полиномиальных и т.д.) [3].

Предлагаемый подход позволяет до 300% сократить аппаратные затраты и увеличить скорость обработки информации по сравнению с подходами, используемыми современными промышленными САПР.

Литература

1. Gorodecky D. Design of Multipliers using Fourier Transformation // Further Improvements in the Boolean Domain. Cambridge Scholar Publishing, UK. Section 3.4. P. 240–252.
2. Gorodecky D. and Villa T. Efficient Hardware Operations for the Residue Number System by Boolean Minimization // Advanced Boolean Techniques. Springer. Section 11. P. 237–258.
3. Gorodecky D. Reed-Muller Representation n Arithmetic Operations // Reed-Muller Workshop, May 24, 2019, Fredericton, New Brunswick, Canada. P. 53–58.

ОПЫТ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВМ

А.Н. Гуцин, М.Н. Дивакова, Н.И. Леушева

Уральский государственный архитектурно-художественный университет, Екатеринбург, Россия
alexanderNG@yandex.ru

В традиционной технологии создания проектной документации, в том числе с помощью ИТ-технологий, используется стадийный принцип: вначале архитектор высказывает концептуальную идею, которая затем конкретизируется проектировщиками и воплощается в проектной документации. Переход к ВМ-технологиям радикально меняет данную схему за счет того, что ВМ-проектирование происходит в многопользовательской среде, когда каждый член проектной команды имеет равные права доступа к информационной модели (конечному продукту). А это, в свою очередь, затрудняет для архитектора исполнение роли концептуалиста, или по крайней мере приводит к конкуренции за эту роль с другими членами проектной команды.

В качестве решения проблемы авторы ранее предлагали овладение архитектором новой компетенцией – компетенцией системного аналитика для того, чтобы самому стать инициатором создания необходимых информационных ресурсов [1]. Целью настоящей работы является практическая проверка того, может ли архитектор создавать необходимые онтологии. Проверка производилась в ходе овладения магистрантами архитектурной специальности навыками научного исследования.

Средством, которое обеспечивает выполнение роли системного аналитика, является онтологическое моделирование предметной области. Авторы рекомендуют использовать известную методику – стандарт онтологического моделирования IDEF5 [2]. По мнению авторов, процесс информационного моделирования начинается с концептуального архитектурного проектирования и является его составной частью. Стандарт

IDEF5 содержит две составляющих: текстовую и графическую. Графическая составляющая описывает связи между основными объектами.

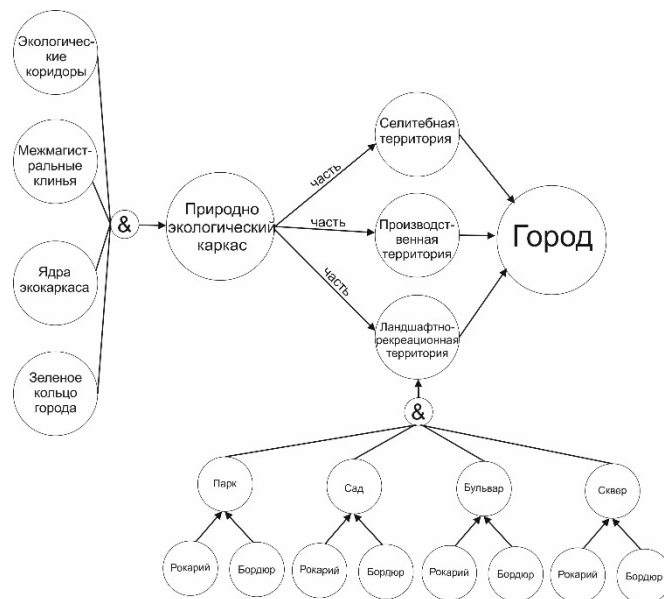


Рис. 1. Графическое представление результатов онтологического анализа

Представленная на рисунке графическая составляющая онтологии демонстрирует, что магистрант владеет понятийным аппаратом (каждое понятие отображается как круг) и что в созданной магистрантом онтологии выстроены разнообразные связи между понятиями.

Далее представленная на рисунке служит концептуальной основой для создания инфологической структуры базы данных, а после определения экземпляров отдельных объектов – и непосредственно для создания самой базы данных. К сожалению, ограниченный объем настоящих тезисов не позволяет описать данный процесс подробно.

Результатом трансформации онтологии становится база данных, в которой основным понятиям соответствуют различные таблицы, а графическим связям – информационные связи в базе данных.

Тем самым можно заключить, что архитектор действительно может осуществлять концептуальное проектирование, обеспечивая не только визуализацию предлагаемого проектного решения, но и создавая его информационную основу, которая вписывается в процесс BIM-проектирования.

Литература

1. Дивакова М.Н., Гуцин А.Н. Системный аналитик – будущая компетенция архитектора // Архитектура и строительство России. 2018. № 3. С. 102–107.
2. IDEF5 Method Report. Prepared for: Armstrong Laboratory AL/HRGA Wright-Patterson Air Force Base, Ohio 45433. Revision Date: September 21, 1994. Contract Number: F33615-C-90-0012

РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО КО-ДИЗАЙНА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОРОВ С ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

А.Ю. Филимонов¹, Н.А. Лукин², В.Н. Тришин²

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

²Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия
a.filimonov@urfu.ru

Возрастающие темпы информатизации современного общества, которые проявляются в экспоненциальном росте количества IoT-подключений и объема передаваемых данных, вызвали значительное увеличение нагрузки на существующую сетевую инфраструктуру [1]. В качестве одной из возможных мер, способных обеспечить приемлемые темпы роста этой нагрузки был предложен подход граничных/туманных вычислений (edge/fog computing) [2]. При реализации данного подхода, например, вычисления, связанные с предварительной обработкой изображений, перемещаются от высокопроизводительных центров обработки

данных на существенно ограниченные по ресурсам [3] периферийные устройства такие, как IoT-шлюзы или “умные” датчики (smart sensors) [4]. Высокие требования к производительности подобных устройств при обработке ими параллельных потоков данных в сочетании с жесткими ресурсными ограничениями ставят под сомнение возможность использования в их составе вычислителей традиционной архитектуры [5] и, в то же время, создают возможности для применения функционально-ориентированных процессоров (ФОП) на однородных вычислительных средах (ОВС) [6].

Отличительной особенностью ОВС является взаимосвязь архитектуры вычислителя и выполняемых им функций, поэтому, основными факторами, сдерживающим внедрение ОВС, является комплекс проблем, которые возникают при использовании традиционных подходов для программирования ФОП на их основе [7]. Для решения этих проблем были предложены функционально - модульный принцип LowCode программирования и модельно-ориентированный подход к проектированию, сочетание которых позволяет построить замкнутый цикл ко-дизайна ОВС-ФОП, аналогичный по характеру стадий популярной модели DevOps [8]. В настоящей работе рассмотрен начальный опыт разработки платформы, основанной на данных принципах, и представлены результаты ее использования при проектировании ФОП на базе ОВС “Минитера-2” [6] для реализации алгоритмов первичной обработки цифровых изображений.

Литература

1. The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast. URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45213219>
2. What is edge computing and why it matters. URL: <https://www.networkworld.com/article/3224893/what-is-edge-computing-and-how-it-s-changing-the-network.html>
3. 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.
4. Md Jubaer Hossain Pantho, Pankaj Bhowmik, Christophe Bobda Neuromorphic Image Sensor Design with Region-Aware Processing // VLSI (ISVLSI) 2019 IEEE Computer Society Annual Symposium. 2019. P. 459–464.
5. The Neuromorphic Survey [Электронный ресурс]: <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/kom/iot/embedded-ml/neuromorphic.html>.
6. Filimonov, A. Y., Trishin, V. N. Model-Oriented Co-Design Of Homogeneous Computing Systems // Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2019. Vol. 48. P. 67-73.
7. Филимонов А.Ю., Лукин Н.А. Технологии программирования алгоритмов на архитектурах однородных вычислительных сред. // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика . 2017. Vol. 40. С. 61-70.
8. Trishin, V., Lookin, N., Filimonov, A. Software development technology for homogeneous computing environments // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 1990. P. 60-71.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССОРЫ НА БАЗЕ ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕД В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Н.А. Лукин

Институт машиноведения УрО РАН, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
nicklookin1952@gmail.com

Для большинства систем цифровой обработки изображений в реальном времени следует выделить два основных этапа:

– предварительная (первичная, внутрикадровая) обработка, назначением которой является повышение достоверности изображения. На этом этапе реализуются алгоритмы коррекции геометрических искажений, повышения контрастности, усреднения, сглаживания, фильтрации, сегментации;

– вторичная (межкадровая) обработка, назначением которой является идентификация параметров внешних объектов и их распознавание. На этом этапе реализуются алгоритмы вычисления признаков изображений, формальных инвариантов, определения положения и параметров движения объектов в различных системах координат, построения моделей проблемной среды.

Главными проблемами создания видеосистем реального времени являются разработка параллельных алгоритмов обработки изображений, связанных с ними архитектур и микроэлектронной реализации соответствующих функционально-ориентированных процессоров (ФОП). Результаты исследований [1-5] показывают, что несомненным преимуществом в производительности обработки изображений обладают ФОП на основе однородных вычислительных сред (ОВС-ФОП) [6]. Основной задачей, возлагаемой на ОВС-ФОП, является реализация алгоритмов внутрикадровой обработки изображений.

Архитектура ОВС-ФОП представляет собой двумерный массив процессорных элементов $\{PE_{ij}\}$, $i = 0, \dots, N$; $j = 0, \dots, M$, при этом $(PE)_{i,j} \Leftrightarrow (PE)_{i\pm 1, j\pm 1}$. Все множество однородных ФОП можно представить двумя типами архитектур:

Тип 1. Двумерная матрица PE, размерность которой определяется геометрией матрицы чувствительных элементов датчика. Массив пикселей сначала записывается во внутреннюю память каждого PE, а затем под управлением одного потока команд производится обработка изображения. Этот тип архитектуры относится к классу «Один поток команд – Множество потоков данных» (SIMD) [7].

Тип 2. Двумерный массив PE, число которых связано со степенью внутреннего параллелизма алгоритмов. Общее число PE сложностью алгоритма. Каждый PE может выполнять набор команд. Это другой тип архитектуры параллельной обработки данных – «Множество потоков команд – Множество потоков данных» (MIMD) [7].

В настоящей работе описаны результаты исследований и разработок ОВС-ФОП двух описанных типов архитектур.

Литература

1. Сыряжкин В.И., Титов В.С., Якушенок Ю.Г. и др. Системы технического зрения: Справочник. Томск: МПИ "РАСКО", 1992. 367с.
2. СБИС для распознавания образов и обработки изображений: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 248с.
3. Лукин Н.А. Бортовые функционально-ориентированные процессоры с параллельной обработкой данных// Гироскопия и навигация. 1998. №4 (23). С. 56–66.
4. K. Preston. Detection of Weak, Subpixel Targets Using Mesh-Connected Cellular Automata// IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1990. Vol. 26, № 3. P. 548–558.
5. Jianguo Liu, Diyun Xu. Novel MDCT using first-order moments// Proceedings Volume 8005, MIPPR 2011: Parallel Processing of Images and Optimization and Medical Imaging Processing; 800507 (2011). Proc. of SPIE Vol. 8005 800507. P. 1–8.
6. N. Lookin, V. Bersenev, M. Trapeznikoff. VLSI Based On Two-Dimensional Reconfigurable Array Of Processor Elements And Their Implementation For Numerical Algorithms In Real-Time Systems// Proceedings of IP Based Electronics System IP-07. Espace Congrès du World Trade Center 5 place Robert Schuman, 38500 Grenoble, France. P. 541–546.
7. Lookin N.A. Function-oriented processors with homogenous architecture for data flow signal processing in the space-born control systems. 2014 24nd Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014). Sevastopol, 2014, Crimea, Russia. Vol.1. P. 417–418. IEEE Catalog Number: CFP14788.

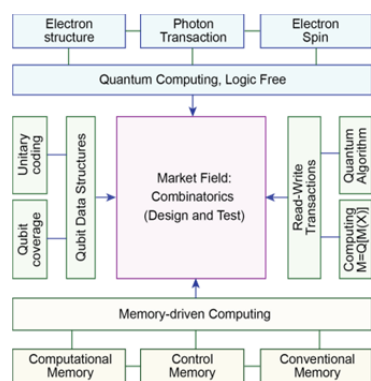
КУБИТНО-ВЕКТОРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ

Владимир Хаханов¹, Светлана Чумаченко¹, Евгения Литвинова¹, Вугар Абдуллаев²

¹ ХНУРЭ, Харьков, Украина

² Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
hahanov@icloud.com

Рассматривается memory-driven технология проектирования и тестирования цифровых изделий на основе кубитно-векторных форм описания функциональностей для существенного повышения производительности вычислительных процессов анализа и синтеза путем параллельного выполнения логических операций. Предлагаются кубитно-векторные модели описания функциональностей, которые отличаются от известных таблиц истинности компактностью, что дает возможность уменьшить затраты памяти для описания структур данных. Рассматриваются кубитно-векторные методы и алгоритмы синтеза и анализа цифровых систем и компонентов, которые отличаются от известных параллельным выполнением логических операций и процедур над векторными структурами данных. Предлагаются технологические атрибуты сходства и различия между квантовым и классическим компьютерингом, которые дают возможность взаимного обогащения и развития современного компьютеринга для мониторинга и управления оцифрованными биологическими, техническими и виртуальными процессами и явлениями. Рассматриваются примеры использования кубитно-векторных моделей, методов и алгоритмов для повышения производительности исправного моделирования, синтеза тестов, дедуктивного анализа и диагностирования дефектов. Предлагаются программные приложения, ориентированные на изучение особенностей кубитно-векторной технологии проектирования и тестирования цифровых изделий. Состояние исследования. Квантовый и классический компьютеринг имеет предел детерминизма электрона, как элемента памяти, где операции записи–считывания выполняются с максимальным быстродействием, равным скорости света – квантов электромагнитного излучения. Формируется компьютеринг будущего, как quantum read-write on electron structure [1]. Решается проблема энергосбережения, когда дневного света достаточно для подзарядки атомно-электронной структуры. Здесь нет места процессорам АЛУ, технологически сложным логическим операциям, шинам обмена данными, что разрушает производительность и регулярность памяти для выполнения read-write операций. Классический компьютеринг, принимая на



вооружение данные инновации, приобретает возможность решать следующие проблемы: 1) Параллельно решать традиционно сложные задачи за счет унитарного кодирования и увеличения памяти для специфических структур данных. 2) Создавать квантово-ориентированные методы, алгоритмы и приложения параллельного решения (эмулирования) комбинаторных задач с прицелом на их имплементацию в квантовые массовые вычислители, которые появятся в ближайшее десятилетие [2-4]. Быстрыми темпами формируется квантовая технологическая культура для эффективного параллельного решения комбинаторных задач, охватывающая практически все сферы человеческой деятельности, имеющие определение «quantum»: electrodynamics, computing, data structures, circuits, algorithms, logic, circuit simulation, security, modeling, information, telecommunications, computer sciences, cryptography, memory, artificial intelligence, statistics, programming. Сущность исследования заключается в создании Quantum Design and Test теории, использующей кубитно-векторные структуры данных для параллельного решения задач синтеза и анализа, в данном случае, цифровых систем и компонентов классического компьютеринга (рис. 1). Результаты: 1) Q-метод синтеза тестов, использующий кубитно-векторную структуру данных. 2) Q-метод дедуктивного моделирования неисправностей на основе кубитных покрытий, который дает возможность параллельно получать таблицы векторов для анализа дефектов. 3) Кубитный метод исправного моделирования, который использует только операции записи-считывания для верификации цифровых проектов, представленных кубитными векторами. Методы ориентированы на ограниченное число функциональных элементов в схеме, что связано с использованием интерпретативной явной формы описания моделей, предназначенной для детального изучения студентами и аспирантами предложенной технологии.

Литература

1. *Hahanov V.* Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. Springer. New York, 2018. 279 p.
2. *DeBenedictis E.P., Frank M.P.* The National Quantum Initiative Will Also Benefit Classical Computers // *Computer*. 2018. Vol. 51, is. 12. P. 69–73.
3. *Emily Grumbling and Mark Horowitz.* Quantum Computing: Progress and Prospects. The National Academies Press, 2019. 272 p. <https://doi.org/10.17226/25196>.
4. *Viamontes G., Markov I., Hayes J.* The theoretical and practical aspects of quantum circuit simulation on conventional. *Quantum Circuit Simulation*. Springer, 2009. 154 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Прикладные информационные технологии

<i>Подоплелов Е.В., Бальчугов А.В., Дементьев А.И.</i> Моделирование процесса испарения 1,2-дихлорэтана в азот	3
<i>Краковский Ю.М., Хоанг Н.А.</i> Математическое описание страхового фонда на основе случайного процесса риска	4
<i>Коновалов Ю.В., Засухина О.А.</i> Облачные технологии в энергетике	5
<i>Коновалов Ю.В.</i> Информационные fuzzy-технологии в энергетике	6
<i>Дмитренко А.Г., Балашова О.М.</i> Моделирование электромагнитного рассеяния на тонких ортогональных идеально проводящем и диэлектрическом цилиндрах	7
<i>Катасонов А.О., Маликов В.Н., Дмитриев С.Ф., Сагалаков А.М., Ишков А.В.</i> Компьютеризированная измерительная система для сканирования сплавов с использованием вихретоковых преобразователей	8
<i>Моренец А.И., Павленко Б.Н., Лежнина И.А.</i> Разработка алгоритма компенсации нарушения качества кожно-электродного контакта	9
<i>Моренец А.И., Павленко Б.Н., Лежнина И.А.</i> Разработка алгоритма оценки влияния качества кожно-электродного контакта на ЭКГ-сигнал	10
<i>Зорин П.А., Стукач О.В.</i> Статистическое моделирование тепловых характеристик жилых домов на основе данных теплосчетчиков	11
<i>Шамардин А.Б., Шамардин А.Д.</i> Комплекс программ для экспресс анализа объемно-планировочных решений железобетонных и ограждающих конструкций жилых зданий	12
<i>Эминов Ф.И., Голицына И.Н., Эминов Б.Ф.</i> Офисные и промышленные информационные системы и сети в подготовке современных специалистов	13
<i>Гордон М.А., Василенко П.А., Седых Д.В.</i> Синтез программ полной функциональной проверки систем управления движения поездов на железнодорожной станции	13
<i>Golovkova E.A., Lopatina K.I.</i> Stage of software testing within the methodology SCRUM	15
<i>Головкова Е.А., Наумова О.С.</i> Программа оценки компетентности выпускников вузов	16
<i>Patsei N.V., Jaber G.</i> Naming and routing schemes for information-centric networking	17
<i>Фомина Л.В., Малахова Е.А., Безносюк С.А., Пожидаетов Ю.Н., Раскулова Т.В., Лебедева О.В., Пожидаетов Ю.Н.</i> Информационные технологии в разработке топливных элементов с твердополимерным электролитом	18
<i>Кустов Б.О., Кустова Н.М., Бальчугов А.В.</i> Методика расчета зависимости частоты вращения крыльчатки от расхода воды в теплообменнике	19
<i>Кривов М.В., Колмогоров А.Г., Кобозев В.Ю., Благодарный Н.С.</i> Тренажерные модели и компьютерный тренинг операторов при складировании сжиженных углеводородных газов	20
<i>Блинков А.В., Збыковский К.В.</i> Концепция обращенной QA-системы для описания предпринимательских задач	21
<i>Семёнов И.А.</i> Моделирование процессов тепло- и массопереноса от колеблющейся твердой поверхности	22
<i>Дьякович М.П.</i> Энтропийное моделирование формирования вибрационной болезни от локальной вибрации	23
<i>Поляков А.И., Карталов А.В., Балык В.</i> Аппаратно-программный комплекс автоматизированного обнаружения дефектов кровель зданий и сооружений для применения в строительстве	24
<i>Шамардин А.Б., Шамардин А.Д.</i> Комплекс программных средств для разработки пакета документов на получение кредита в уполномоченных банках на строительство жилых зданий в условиях проектного финансирования	25
<i>Исмаилов Б.Р., Изтаев Ж.Д., Исмаилов Х.Б.</i> Математическое моделирование процесса каталитического пиролиза метана	26
<i>Кудрявцев Н.Г., Гвоздарев А.Ю., Кудин Д.В., Учайкин Е.О., Темербекова А.А.</i> Об использовании метода проектных интерфейсов при организации инструментальных наблюдений нерегулярных природных явлений	27
<i>Бельский И.О., Куприянов И.С., Лукьянов А.В.</i> Конечное элементное моделирование асинхронных электродвигателей с электрическими дефектами статора и ротора	28
<i>Nyvt V.</i> Conceptual meta model for building information modeling	29
<i>Коновалов Ю.В.</i> Цифровизация системы управления электропотреблением предприятий нефтегазодобычи	30
<i>Бахарева О.В., Шигапова М.И.</i> Инвестиции в информационное моделирование цифровых двойников: 3D-секторные геолого-гидродинамические модели на примере ОАО «Гатнефть»	31

<i>Ерохин Г.П., Родионова Ю.В.</i> Применение технологий информационного моделирования для обеспечения устойчивого развития территорий (на примере проспекта Карла Маркса в городе Новосибирске)	32
<i>Козак Н.В.</i> Моделирование и анализ работы неразрезных балок мостов под действием нестационарных нагрузок	33
<i>Плотников С.В.</i> О вычислительных проблемах применения линейного программирования к построению кусочно-линейных аппроксимаций со свойством Делоне	34
<i>Шустова Е.П.</i> Интерфейс системы «Обработка и анализ изображений и видеопотоков»	35
<i>Субботин С.Д.</i> Использование беспилотного летательного аппарата в качестве измерительной платформы для выявления технического канала утечки информации от средств вычислительной техники	36
<i>Щербин С.А.</i> Оптимизация размеров промышленного оборудования	37
<i>Шатцев В.А.</i> Результаты семантического анализа термина «обеспечение системы» в информатике	38
<i>Кривов М.В., Дьякович М.П.</i> Опыт использования машинного обучения в диагностике нейросенсорной тугоухости от воздействия шума на производстве	38
<i>Жабин О.С., Василенко Р.А., Маленко Г.И., Атамасов В.В., Жуков А.А., Коровин Е.Ю.</i> Использование информационных технологий в лабораторном практикуме по курсу «измерительные приборы и устройства в радиотехнике»	39
<i>Болвин Р.В., Шатцев В.А.</i> Насыщенность web библиотеками модулей машинного обучения	40
<i>Бородулина С.В., Кузнецова О.Г.</i> Методика обучения работе в Revit Architecture	41
<i>Kudryashov Sergey, Madhwal Yash, Maslov Ivan, Yanovich Yury.</i> QR code based data storage for supply chain	42
<i>Широкова О.А., Гайнутдина Т.Ю., Денисова М.Ю.</i> Вопросы интеграции обучения математике и информационным технологиям	43
<i>Лугачев М.И.</i> О неоднозначности результатов цифровой экономики	44
<i>Гайдамака Ю.В., Кучерявый Е.А., Самуйлов К.Е.</i> Задачи стохастического моделирования интегрированной всепроникающей наземно-воздушной сети 6G	44
<i>Савенков А.И., Горбач П.С.</i> Компьютерная программа для оптимизации состава пенобетона	45
<i>Пищулина Д.П.</i> Моделирование звукового воздействия на слуховой аппарат человека	46
<i>Ефанов Д.В., Хорошев В.В.</i> Динамические вопросники для систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры	47
<i>Utekhina N., Solomatina A.</i> Adaptation of the electronic device design route using Russian software	48
<i>Лаврик А.А., Эльхуттов С.Н.</i> Применение абсолютных магнитных энкодеров для неразрушающего контроля поршневых машин	49
<i>Портнягин Д.Г., Кравчук Е.И., Труфанов А.И.</i> Выявление сетевых признаков монтажа в Фурье-спектре аудиосигнала	50
<i>Климова А.С., Кодолов С.Д., Филимонов А.Ю., Аксенов К.А.</i> Моделирование автономного контура управления динамическим распределением ресурсов программно-конфигурируемой коммуникационной инфраструктуры	51
<i>Кодолов С.Д., Климова А.С., Аксенов К.А., Филимонов А.Ю.</i> Использование netconf-проxy сервера для интеграции испытательного оборудования в программно-управляемые инфраструктуры	52
<i>Катаев С.Г., Катаева С.С., Миллер А.А.</i> Использование метода выделения структур в обработке данных при скважинных измерениях методом гамма-каротажа	53
<i>Катаев С.Г., Катаева С.С., Antonyuk N.A., Kelderman H., Wolterink M.</i> Применение метода выделения структур в задаче сортировки объектов	54
<i>Фоминых А.Ф., Хмелев В.Л.</i> Обзор методов восстановления радиоизображений	55
<i>Сурин В.А., Тырсин А.Н.</i> Математическая модель фильтрации на основе обобщенного метода наименьших модулей как инструментальной обработки и анализа контрастных изображений	55
<i>Акимов Д.А., Кулагин В.П., Гуляев А.А., Коков Л.С.</i> Активные деформационно-статистические модели для поиска сети кровеносных сосудов на комплексированном изображении	56
<i>Климашевская А.О., Громов М.Л.</i> Графический интерфейс системы автоматизированного составления расписания: доступ к БД и модуль ограничения ресурсов	57
<i>Сверчинская Д.М., Громов М.Л.</i> Автоматизация составления расписания для учебных заведений	58
<i>Tikhomirov A., Trufanov A., Grigoryev S., Berestneva O., Burkatovskaya Yu.</i> Global brain and beyond: a concerted model of interacting networks	59
<i>Kitaeva Anna V., Stepanova Natalia V., Yuanyuan Zhang.</i> Dynamic pricing for deteriorating items to reduce waste at retailers in the era of industry 4.0	60
<i>Новиков П.Л., Павский К.В., Баранов А.А.</i> Ускоренный поиск соседей в методе молекулярной динамики	61
<i>Якимук А.Ю., Катаева Е.С.</i> Модификация алгоритма распознавания нот с резким изменением частот основного тона	62

<i>Розенбаум Ю.А., Аристов А.А., Шульгина М.А., Розенбаум К.А.</i> Програмное обеспечение для оценки процесса агглютинации эритроцитов	62
<i>Trofimov S.P.</i> Generalized polygons	63
<i>Аристов А.А., Шульгина М.А., Розенбаум Ю.А.</i> Разработка вибрационной платформы для исследования агглютинации эритроцитов	64
<i>Захарова Г.Б.</i> Умный город как интеграция технологий: BIM, GIS, CIM, цифровой двойник, интернет вещей и большие данные	65
<i>Захарова Г.Б., Кругликов С.В.</i> Цифровой двойник северного города на основе априорной мульти-агентной модели взаимодействия гибридных систем энергообеспечения	66
<i>Шульга И.Д., Юрченко Е.А.</i> Моделирование процесса эвакуации при чрезвычайных ситуациях	67
<i>Юрченко Е.А., Шульга И.Д.</i> Моделирование процессов распространения огня и дыма в UnrealEngine	68
<i>Шаляпина Н.А., Матолыгин А.К., Громов М.Л., Торгаев С.Н.</i> Тензорный подход к программной реализации клеточно-автоматной модели диффузии	69
<i>Маслова Ю.В., Хомякова К.И.</i> Информационно-образовательная онлайн-платформа по стандартам Worldskills на примере компетенции «квантовые технологии»	70
<i>Ляшенко Д.А., Бондарева Т.С., Торгаев С.Н., Громов М.Л.</i> Применение методов обработки изображений для построения моделей активных оптических систем	71

Секция 2. Искусственный интеллект

<i>Okhotnikov O.A.</i> About proof-search in intuitionistic natural deduction calculus using partial skolemization	72
<i>Gorbenko A.A., Ovchinnikov A.I., Popov V.Yu.</i> Strictly collaborative multi-robot exploration	72
<i>Байрашева В.Р.</i> Верификация лексических онтологий методом использования семантической близости слов, рассчитанных по большим корпусам текстов	73
<i>Kulyukin V., Mukherjee S., Burkatovskaya Yu.</i> Distributed DPIV vector analysis in ad hoc networks	74
<i>Хромов С.К., Кулагин М.А., Сидоренко В.Г.</i> Автоматизация сопровождения пользователей автоматизированных систем управления на базе машинного обучения	74
<i>Комаров А.Ю.</i> Метод обучения с подкреплением для архитектуры вероятностных автоматов мили	75
<i>Solovyev V.D., Bochkaev V.V., Khristoforov S.V.</i> Generation of a dictionary of abstract/concrete words by a multilayer neural network	76
<i>Ovchinnikov A.I., Popov V.Yu.</i> Human-like heuristic strategies for robot exploration tasks	77
<i>Gu C., Gromov M.L.</i> Automated vehicle control system based on a single-board computer	78
<i>Брагина А.Д., Громов М.Л.</i> Система автоматизации трассировки печатных плат на основе нейронных сетей	79
<i>Каширский Д.Е.</i> Определение температуры и парциальных давлений компонентов высокотемпературной газовой смеси с помощью искусственных нейронных сетей	80

Секция 3. Стохастические модели

<i>Вишневецкий В.М., Ларионов А.А., Мухтаров А.А.</i> Расчёт характеристик тандемной сети с фиксированными длинами входящих пакетов методом машинного обучения	82
<i>Sabelfeld K.K., Kireeva A.E.</i> Electron-hole recombination and transport in semiconductors: stochastic dynamics simulation	83
<i>Горцев А.М., Веткина А.В.</i> Оценивание параметра равномерного распределения длительности непродлевающегося мертвого времени в полусинхронном потоке событий	83
<i>Алиева С.Г.</i> Математические модели многоканальных систем с повторной передачей искаженных данных	84
<i>Кеба А.В., Нежелская Л.А.</i> Статистические эксперименты на имитационной модели обобщённого мар-потока событий с произвольным числом состояний в условиях непродлевающегося мёртвого времени	85
<i>Лебедева О.А., Полтавская Ю.О.</i> Методика оценки колебаний транспортных потоков на улично-дорожной сети путем применения статистического метода	87
<i>Полтавская Ю.О., Лебедева О.А.</i> Оптимизация работы транспортной сети на основе модели резервной пропускной способности	88
<i>Ефросинин Д., Рыков В., Фархадов М.</i> Профилактическое обслуживание привязного модуля высотной телекоммуникационной платформы	89
<i>Kozyrev D.V., Rykov V.V., Vishnevsky V.M.</i> Reliability modeling of the rotary-wing flight module of a high-altitude telecommunication platform	89
<i>Горцев А.М., Шманкеева А.В.</i> Оценивание параметра равномерного распределения длительности непродлевающегося мёртвого времени в асинхронном потоке событий	90

<i>Нежелская Л.А., Перишина А.А.</i> Оценка в особом случае параметра равномерного распределения длительности непродлевающегося мёртвого времени в обобщённом асинхронном потоке событий	91
<i>Efrosinin D., Rykov V., Stepanova N.</i> Optimal control of a processor sharing queueing system with heterogeneous servers	92
<i>Лившиц К.И., Соколенко Е.С., Чупрасова Л.В.</i> Розничная продажа многономенклатурной партии продукции с ограниченным сроком годности при ммп-потоке моментов продаж	93
<i>Лившиц К.И.</i> Модель управления запасами скоропортящейся продукции с релейным управлением темпом производства и ММР-потоком моментов продаж	94
<i>Нежелская Л.А., Тумашкина Д.А.</i> Плотность вероятности значений длительности интервала между событиями полусинхронного потока второго порядка в условиях неполной наблюдаемости	95
<i>Гендрина И.Ю.</i> Пространственная и частотная характеристики систем видения через атмосферу	96
<i>Нежелская Л.А., Сидорова Е.Ф.</i> Оценка длительности мертвого времени в рекуррентном обобщенном синхронном потоке событий второго порядка	96
<i>Dmitriev Yu.G., Koshkin G.M.</i> Estimation of actuarial present value of deferred life annuity using information about expectation of life	97
<i>Lipnin Yu.A., Mazur V.G., Piltsov M.V., Poudalov A.D.</i> Stochastic method for assessing the additional error of technical measuring systems	98
<i>Lipnin Yu.A., Mazur V.G., Piltsov M.V., Poudalov A.D.</i> Stochastic model of the total dynamic and additional errors of technical measuring systems	99
<i>Лебедева О.А., Полтавская Ю.О.</i> Планирование интермодальных перевозок с применением модели оптимизации затрат	100
<i>Полтавская Ю.О., Лебедева О.А.</i> Моделирование продолжительности движения по маршруту с учетом характеристик улично-дорожной сети	101
<i>Копать Д.Я., Матальцкий М.А.</i> Анализ в нестационарном режиме g-сети с обходами систем обслуживания положительными заявками	102
<i>Дмитриев Ю.Г., Кошкин Г.М.</i> Непараметрическое оценивание функции надежности с учетом информации о среднем и дисперсии времени безотказной работы невосстанавливаемого элемента	103
<i>Ким К.С., Смагин В.И.</i> Фильтрация и идентификация в дискретных системах со скачкообразными параметрами	104
<i>Фам А.З., Сенотова С.А.</i> Разработка приложения для прогнозирования уровня воды в озере Байкал	105
<i>Свердлова О.Л., Кондратьева Л.М., Иванова С.В.</i> Стохастическая модель процесса адсорбции кислорода	106
<i>Pchelintsev E.A., Perelevskiy S.S., Povzun M.A.</i> Improved signal processing observed with semi-markov noises	107
<i>Добронец Б.С., Попова О.А.</i> Вычислительный вероятностный анализ функциональных временных рядов	107
<i>Czachórski T.</i> Diffusion approximation as a tool in performance evaluation of modern computer networks architectures	108
<i>Гайдамака Ю.В., Кучерявый Е.А., Самуйлов К.Е.</i> Задачи стохастического моделирования интегрированной всепроникающей наземно-воздушной сети 6G	109
<i>Решетникова Г.Н.</i> Управление поставками с учетом влияния рекламы	110
<i>Сурина А.А., Тырсин А.Н.</i> Оптимизационные алгоритмы управления риском в многомерных гауссовских системах	111
<i>Svit K.A., Kireev S.E., Sabelfeld K.K.</i> Stochastic simulation of self-assembly formation of cds nanocrystals synthesized by the langmuir-blodgett method	112
<i>Дудина О.С., Дудин А.Н.</i> Анализ функционирования в меняющихся условиях соты мобильной сети связи с пространственной генерацией вызовов и скоростью передачи, зависящей от местонахождения пользователя	113
<i>Дудин А.Н., Дудин С.А.</i> Моделирование функционирования беспроводных сенсоров, расходующих аккумулярованную энергию на получение и передачу информации	114
<i>Дудин С.А., Дудина О.С.</i> Система обслуживания разнотипных запросов со справедливым назначением приоритетов	115
<i>Литин А.Е.</i> Разложимость топологического пространства в точке и топологические свойства	116
<i>Приступа П.В., Сущенко С.П.</i> Прямая коррекция ошибок в транспортном протоколе с внутрисегментной организацией помехоустойчивого кодирования	116
<i>Цицаишвили Г.Ш.</i> Нестационарная пуассоновская модель непрерывно функционирующей системы обслуживания	117

Секция 4. Разработка программного обеспечения и BIG DATA

<i>Golovkova E.A., Ermakova N.M.</i> Development of a program to reduce the dimensionality of multidimensional data arrays by the method of principal components	119
<i>Shirykalov A.M., Marukhina O.V.</i> Application of local outlier probabilities method within visualization software system based on andrews curves for multidimensional outliers detection	120
<i>Буякова Н.В., Крюков А.В.</i> Системный подход к моделированию электромагнитной обстановки на железных дорогах переменного тока	121
<i>Перышкова Е.Н., Курносоев М.Г.</i> Анализ алгоритмов трансляционно-циклического обмена стандарта MPI	122
<i>Васин М.А.</i> Определение стадии сна по воздушному потоку у пациентов с расстройствами сна	123
<i>Ефимов А.В., Павский К.В.</i> Анализ накладных расходов при выполнении параллельных отказоустойчивых программ на распределенных вычислительных системах	124
<i>Замятин А.В., Костюк Ю.Л., Лапатин И.Л., Приступа А.В.</i> Адаптивный выбор глобальных дескрипторов для сравнения 3d объектов на основе предварительного анализа формы	124
<i>Громов М.Л., Земичева С.С.</i> Расширение словаря rhotmophy диалектными словами	125

Секция 5. Квантовые вычисление и криптография

<i>Fedorov A.K.</i> Characterizing quantum many-body systems with machine learning	127
<i>Чиркина Е.А.</i> Квантово-химическое моделирование реакции бензоилацетилена с дитиомалонамидом	127
<i>Ablayev F.M., Vasiliev A.V.</i> Quantum hashing and fourier transform	128
<i>Курочкин В.Л., Хмелев А.В., Петров И.В., Миллер А.В., Феимов Ф.Ф., Майборода В.Ф., Баланов М.Ю., Крушинский В.В., Попов А.А., Курочкин Ю.В.</i> Регистрация квантового состояния одиночного фотона при построении спутниковой квантовой сети	129
<i>Каширский Д.Е., Мажитова М.С.</i> Программное обеспечение для измерения параметров детекторов одиночных фотонов на модульной научно-исследовательской установке квантового распределения ключей	130

Секция 6. Дискретные системы

<i>Микони С.В.</i> Собственные свойства модели и их применение в квалиметрии моделей	132
<i>Михайлова А.Н., Болтова В.С., Прокопенко С.А., Шабалдина Н.В.</i> К применимости композиции конечных автоматов к описанию взаимодействия расширенных автоматов	133
<i>Провкин В.А.</i> Упрощение конъюнктивных нормальных форм в задачах построения корректирующих схем	134
<i>Буторина Н.Б., Буркатовская Ю.Б., Пахомова Е.Г.</i> Об упрощении схемы самотестируемого детектора (m, n)-кодов для подмножества кодовых слов	136
<i>Тычинский В.З., Андреева В.В.</i> Получение тестовых пар для робастно тестируемых неисправностей задержек путей с использованием КНФ логической схемы	135
<i>Матросова А.Ю., Чернышов С.В.</i> Построение последовательности, доставляющей тестовую пару для робастно тестируемой неисправности задержки пути	136
<i>Твардовский А.С., Евтушенко Н.В.</i> Синтез установочных последовательностей для автоматов с таймаутами	137
<i>Манушов В.А., Шабалдина Н.В.</i> Автоматизация проверки лабораторных работ по тестированию дискретных систем на основе формальных моделей	139
<i>Kashirova L., Keevallik A.</i> Entropy-base design of low power FSMs	140
<i>Бурдонов И.Б., Евтушенко Н.В., Косачев А.С.</i> Графовые проблемы в SDN-технологии	140
<i>Винарский Е.М., Твардовский А.С.</i> Экспериментальное исследование свойств адаптивных установочных последовательностей для недетерминированных автоматов	141
<i>Широкова Е.В., Евтушенко Л.Г., Лапутенко А.В., Евтушенко Н.В.</i> Оптимизация компонентов многомодульных систем на основе решения автоматных уравнений	142
<i>Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В.</i> Структура схемы коррекции сигналов на основе контроля вычислений по коду паритета	143
<i>Nikitin D.A., Trofitov S.P.</i> Mathematical modeling and computer analysis of line images	144
<i>Медведев Ю.Г.</i> Клеточно-автоматные модели диффузии в пространствах различной размерности	145
<i>Бурдонов И.Б., Евтушенко Н.В., Косачев А.С.</i> О синтезе различающих последовательностей для входо-выходных полуавтоматов	146
<i>Воронин И.А., Доценко О.А.</i> Разработка алгоритма численного моделирования процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза	146

Секция 7. Цифровые устройства

<i>Шерстобитов А.М.</i> Использование компаратора при оцифровке сигналов ветрового лидара	148
<i>Камкин А.С., Лебедев М.С., Смолов С.А.</i> Экспериментальное сравнение открытых инструментов проверки моделей цифровой аппаратуры	149
<i>Камкин А.С., Лебедев М.С., Смолов С.А.</i> Поиск конфликтов доступа к данным в HDL-описаниях	150
<i>Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д.</i> Верификация логических схем на транзисторном уровне	150
<i>Городецкий Д.А.</i> Аппаратные алгоритмы вычисления арифметических операций	151
<i>Гущин А.Н., Дивакова М.Н., Леушева Н.И.</i> Опыт онтологического моделирования предметной области как основы для использования в ВМ	152
<i>Филимонов А.Ю., Лукин Н.А., Тришин В.Н.</i> Разработка облачной платформы модельно-ориентированного ко-дизайна функционально-ориентированных процессоров с однородной структурой	153
<i>Лукин Н.А.</i> Функционально-ориентированные процессоры на базе однородных вычислительных сред в мобильных системах цифровой обработки изображений	154
<i>Хаханов Владимир, Чумаченко Светлана, Литвинова Евгения, Абдуллаев Вугар.</i> Кубитно-векторное проектирование и тестирование	155

Научное издание

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ
СЛОЖНЫХ СТРУКТУР**

**МАТЕРИАЛЫ
ТРИНАДЦАТОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
7–9 сентября 2020 г.**

Издание подготовлено в авторской редакции

Компьютерная верстка А.И. Лелююр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано к печати 09.06.2020 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Печ. л. 20,5. Усл. печ. л. 19.
Тираж 500 экз. Заказ № 4329.

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 978-5-94621-913-6



9 785946 219136