

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
ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
19–24 сентября 2022 г.**

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2022

УДК 004(082)
ББК 73я431
Н766

Редакционная коллегия выпуска:

А.М. Горцев, профессор, заведующий кафедрой ПМ ИПМКН НИ ТГУ, Томск
А.В. Замятин, профессор, директор ИПМКН НИ ТГУ, Томск
М.Л. Громов, доцент кафедры ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
С.Н. Торгаев, доцент, заведующий кафедрой ИТИДиС РФФ НИ ТГУ, Томск
Ю.Г. Медведев, старший научный сотрудник лаборатории синтеза параллельных программ,
ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск
А.Ю. Матросова, профессор кафедры КБ ИПМКН НИ ТГУ, Томск
Л.А. Нежелская, профессор кафедры ПМ ИПМКН НИ ТГУ, Томск
Г.М. Захарова, доцент, УрГАХУ, Екатеринбург

Новые информационные технологии в исследовании сложных структур:

Н766 материалы Четырнадцатой международной конференции, 19–24 сентября 2022 г. –
Томск : Изд. Дом Том. гос. ун-та, 2022. – 84 с.

ISBN 978-5-907572-15-7

Четырнадцатая международная конференция «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур» проводится в посёлке Листвянка Иркутской области с 19 по 24 сентября 2022 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 978-5-907572-15-7

© Томский государственный университет, 2022
© Авторы статей, 2022

Секция 1. ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С.А. Щербин, А.А. Готов, В.А. Готов

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

OPTIMIZATION OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

S.A. Shcherbin, A.A. Glotov, V.A. Glotov

Angarsk state technical university, Angarsk, Russia

Теплообменное оборудование является наиболее распространенным в различных отраслях промышленности. Например, на химических предприятиях его доля достигает 50% от общего количества оборудования [1].

В работе приведены уравнения, которые могут использоваться при оптимизации теплообменного оборудования посредством определения и анализа капитальных и эксплуатационных затрат [2, 3].

Представим приведенные годовые затраты на теплообменник Z , руб/год, в следующем виде:

$$Z = E \cdot K + \Theta, \quad (1)$$

где K – капитальные затраты, руб; Θ – эксплуатационные затраты, руб/год; E – коэффициент эффективности капиталовложений, год⁻¹.

Капитальные затраты на кожухотрубчатый теплообменник определяются стоимостью труб C_T , а эксплуатационные затраты – стоимостью электроэнергии на перемещение теплоносителей:

$$K = C_T = \frac{(d_2 - d_1) \cdot V_1 \cdot \rho_1 \cdot \rho_m \cdot c_1 \cdot \Delta t_1 \cdot C_T}{2 \cdot n \cdot \Delta t_{cp} \cdot K}; \quad (2)$$

$$\Theta = \left(\frac{0,057 \cdot \Delta_{31}^{0,25} \cdot V_1^4 \cdot \rho_1^2 \cdot c_1 \cdot \Delta t_1 \cdot z^3}{\eta_1 \cdot (d_1 + d_2) \cdot d_1^{5,25} \cdot \Delta t_{cp} \cdot n^3} + \frac{4,85 \cdot V_2^{3,72} \cdot \rho_2^{1,72} \cdot c_2 \cdot \mu_2^{0,28} \cdot (1,73 + D/d_2) \cdot \Delta t_2}{\eta_2 \cdot (1 - d_2/l_p)^{1,72} \cdot D^{4,44} \cdot d_2^{0,28} \cdot (d_1 + d_2) \cdot n \cdot \Delta t_{cp}} \right) \cdot \frac{C_3 \cdot \tau}{K}; \quad (3)$$

$$K = \left(\frac{d_1^{1,8} \cdot \mu_1^{0,37} \cdot n^{0,8}}{0,025 \cdot V_1^{0,8} \cdot z^{0,8} \cdot \rho_1^{0,8} \cdot c_1^{0,43} \cdot \lambda_1^{0,57}} + R_1 + \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot \lambda_{ст}} + R_2 + \frac{d_2^{0,35} \cdot D^{1,3} \cdot \mu_2^{0,29} (1 - d_2/l_p)^{0,65}}{0,2 \cdot V_2^{0,65} \cdot \rho_2^{0,65} \cdot c_2^{0,36} \cdot \lambda_2^{0,64}} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры труб аппарата, м; $V_1, V_2, \rho_1, \rho_2, c_1, c_2, \mu_1, \mu_2, \lambda_1, \lambda_2, \Delta t_1, \Delta t_2$ – для теплоносителей соответственно объемные расходы, м³/с, плотности, кг/м³, удельные массовые теплоемкости, Дж/(кг·К), коэффициенты динамической вязкости, Па·с, коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К), изменение температур, К; ρ_m – плотность материала труб, кг/м³; C_T – стоимость материала труб, руб/кг; n – количество теплообменных труб, шт; Δt_{cp} – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителей, К; z – количество ходов по трубам; R_1 и R_2 – термические сопротивления загрязнений на поверхностях стенки, м²·К/Вт; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки трубы, Вт/(м·К); D – внутренний диаметр кожуха аппарата, м; l_p – шаг расположения теплообменных труб в трубной решетке, м; Δ_{31} – эквивалентная шероховатость поверхности стенок труб, м; η_1, η_2 – общие к.п.д. насосов, перекачивающих теплоносители; C_3 – стоимость электроэнергии, руб/(кВт·ч); τ – продолжительность эксплуатации аппарата в году, ч; K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Полученные уравнения (1)-(4) позволяют определить приведенные годовые затраты на стандартизованные кожухотрубчатые теплообменники с учетом теплотехнических, гидродинамических и конструктивных характеристик и выбрать наиболее выгодный вариант аппарата. Предлагаемый подход целесообразно применять на стадии проектирования теплообменников с целью обоснованного выбора основных конструктивных размеров аппаратов и минимизации расходов на их производство и эксплуатацию.

Литература

1. Щербин С.А., Демин Г.Г. Вопросы оптимизации теплообменных аппаратов // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2019. – № 13. – С. 106–109.
2. Щербин С.А., Готов А.А. Определение капитальных затрат на кожухотрубчатый теплообменник // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2020. – С. 136–139.
3. Щербин С.А., Готов А.А. Определение эксплуатационных затрат на кожухотрубчатый теплообменник // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – Ангарск: АнгТУ, 2020. – С. 140–144.

НОВЫЕ ГЛАВЫ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

С.В. Микони^{1, 2}

¹ Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский Центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия
smikoni@mail.ru

NEW CHAPTERS OF THE TEXTBOOK ON THE THEORY OF DECISION MAKING

S.V. Mikoni^{1, 2}

¹ St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Выбор альтернативы как предпочтительного варианта завершает любую управленческую операцию. Под альтернативами может пониматься всё, что угодно. Среди них всё большее внимание уделяется сложным объектам, под которыми в настоящее время понимаются киберфизические и социо-киберфизические системы. В связи с этим автор включил в доработанную редакцию учебного пособия [1] новые разделы, посвящённые особенностям сложных объектов.

Для рассмотрения свойств сложных объектов выделена специальная глава книги.

Сложный объект (СлО) характеризуется многообразием показателей, отражающих его разнообразные свойства. Результатом их упорядочения и разбиения по группам является многоуровневая система показателей. Различные подходы к систематизации показателей дают различные структуры. А от структуры показателей зависит средневзвешенная оценка СлО.

Таким образом, актуальной задачей является обоснованность методики построения иерархической системы показателей. Эта проблема решается выявлением наиболее общих свойств, характеризующих сложный объект, и способом связывания показателей, отражающих свойства соседних уровней общности.

Для нахождения общих свойств СлО и их взаимосвязи предлагается системный подход, основанный на проявлении свойств объекта или его части во взаимодействии с внешней средой. На его основе предлагается совокупность свойств сложного объекта, применимых не только к объектам разного назначения, но и разной природы (искусственной и естественной). Это позволяет с единых позиций анализировать свойства технической части системы и взаимодействующего с ней человека-оператора.

К собственным свойствам СлО отнесены его назначение, устройство, стабильность и развиваемость, ресурсоёмкость и экологичность, управляемость и сложность управления.

Для установления связи между показателями соседних уровней иерархии применяется логико-лингвистический анализ определений соответствующих понятий. В задачу лингвистического анализа входит извлечение существенных признаков из определений понятий, а в задачу логического анализа – выполнение теоретико-множественных операций над совокупностями существенных признаков.

При перечислительном определении термина существенные признаки выражаются в явном виде. А извлечение существенных признаков из определений понятий выполняется с применением «семантических актантов», введённых Л. Теньером. Родовидовая связь между показателями соседних уровней устанавливается при положительном исходе пересечения существенных признаков и анализа их смысла.

Результатирующая система показателей сложного объекта представляет собой его многомерную модель, применяемую для решения различных задач упорядочения альтернатив и определения их принадлежности заданным классам. Эта модель СлО может использоваться как для выбора наилучшей альтернативы, так и для определения отклонения от нормы. Соответствующие задачи решаются с применением оценочных функций, описанию которых посвящена отдельная глава учебного пособия.

Оценочные функции показателей формируются на основе предпочтений лица, принимающего решение [2]. В задачах многоцелевой оптимизации используются функции, реализующие отношение превосходства, а в задачах многомерной классификации – реализующие отношение соответствия.

Другим признаком деления оценочных функций является отношение к цели (норме) – её достижение или отклонение от неё. Они различаются также по областям значений и характеру нелинейности. Выбор оценочной функции зависит от решаемой задачи и от объёма имеющейся у ЛПР информации для формирования предпочтений на шкале показателя.

В главе «Моделирование оценок объектов» излагаются факторы, влияющие на многомерные оценки объектов. К ним относятся: состав показателей J , характеризующих объекты, количество показателей n , структура показателей, границы шкалы j -го показателя, его целевое значение, оценочная функция полезности (ценности) j -го показателя, важность (вес) j -го показателя и вид обобщающей функции.

Из перечисленных факторов первые четыре относятся к модели предметной области, а остальные – к модели предпочтений ЛПР. Отладка моделей выполняется путём варьирования значений перечисленных факторов

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

Литература

1. Микони С.В. Теория принятия управленческих решений: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 428 с.
2. Микони С.В., Бураков Д.П. Обоснование и классификация оценочных функций, применяемых в рейтинговых методах многокритериального выбора // Информатика и автоматизация. – 2020. – Т. 19, № 6. – С. 1131–1165.

USING K-MEANS CLUSTERING FOR PREPROCESSING DISCOMYCETES' IMAGES OBTAINED IN THE HABITAT

D.A. Filimonova¹, I.G. Vorob'eva^{1, 2}, A.Yu. Filimonov³

¹Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation

²Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

³Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation
darya.filimonova@gmail.com, vorobig@ngs.ru, a.filimonov@urfu.ru

Fungi are an integral part of ecosystems, playing an important role in the circulation of substances, making a great contribution to maintaining the stability of natural communities. Of particular interest for the study are discomycetes – a group of orders of fungi of the Ascomycetes phylum, united by the principle of the structure of the fruiting body, which play a significant role in the restoration of ecosystems after natural and technogenic catastrophes [1]. Currently, the most complete data on this polyphyletic group have been accumulated only in certain regions of the Russian Federation: the Far East, the North-West of the country, the Khanty-Mansiysk District. In other areas, information about discomycetes needs to be supplemented and critically revised [2]. When collecting and accumulating such data, the primary identification of representatives of this group of fungi is carried out by external signs of the structure of the fruiting body, where, along with traditional methods of descriptive determination, visual information processing software has recently begun to be used. These methods make it possible to form generalized, objective and detailed information about observations of specific representatives of the polyphyletic group from the raw data obtained in the natural environment, which can subsequently be used to form reliable records in the biodiversity databases. The paper considers proposals for the organization of preliminary processing of images of discomycetes obtained in the habitat. During this processing, images of discomycetes, often growing in groups, should be separated from each other; from the substrate on which they grow, and the herbaceous cover. The selected fragments of the original image are further processed to ensure subsequent identification and inventory.

To separate the images of fruiting bodies of discomycetes from the surrounding objects, the k-means algorithm was used, which provides effective splitting of the original image into clusters by color characteristics [3]. The paper presents comparative results of the implementation of this algorithm when using different color schemes of the original image and confirms the conclusion about the prospects of using non-additive color models to solve the problem [4]. Subsequent processing of image fragments was carried out based on the analysis of histograms of the color components' distribution, which is traditionally used for similar purposes [5]. The results presented in the paper show that the application of the described methods provides reliable determination of the presence of images of fruiting bodies of discomycetes in fragments of the original image and automated generation of reporting data on observation. The data obtained also allow us to make an assumption about the possibility of using histograms of the image's color distribution as key features for automating the process of identifying discomycetes using machine learning tools.

Literature

1. Bogacheva A.V. New and interesting finds of discomycetes in the territory of Khabarovsk region // Biodiversity and environment of protected areas. – 2018. – № 2. – P. 41–53.
2. Filippova N., Arefyev S., Zvyagina E. [et al]. Fungal literature records database of the Northern West Siberia (Russia) // Biodiversity Data Journal. – 2020. – DOI: 10.3897/BDJ.8.e52963
3. Mittal H., Pandey A.C., Saraswat M. [et al]. A comprehensive survey of image segmentation: clustering methods, performance parameters, and benchmark datasets // Multimedia Tools and Applications. – 2021. – DOI: 10.1007/s11042-021-10594-9
4. Jurio A., Pagola M., Galar M., Lopez-Molina C., Paternain D. A Comparison Study of Different Color Spaces in Clustering Based Image Segmentation // Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Communications in Computer and Information Science. – 2010. – Vol. 81. – P. 532–541. – DOI: 10.1007/978-3-642-14058-7_55
5. Solomon C., Breckon T. Fundamentals of Digital Image Processing: a practical approach with examples in Matlab. – Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. – 355 p.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ*

Ю.О. Полтавская

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», Ангарск, Россия
juliapoltavskaya@mail.ru

FACTORS DETERMINING THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

J.O. Poltavskaya

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

За последние годы отмечается активное внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в различных регионах Российской Федерации, что способствует решению ряда проблем транспортной системы и позволяет повысить эффективность перевозочного процесса [1]. Технологическое развитие регионов РФ также способствует увеличению количества научных исследований в области интеллектуальных транспортных систем. Единого официального определения понятия ИТС не существует, и различные авторы определяют его в своих исследованиях на основе документов, стандартов и других исследований, связанных с транспортной системой и ИТС. Почти каждое определение ИТС идентифицирует ее как информационно-коммуникационную технологию, расположенную в инфраструктуре или транспортных средствах и выполняющую определенные функции (управление дорожным движением, повышение безопасности, уменьшение загрязнения и снижение транспортных заторов, повышение эффективности транспортной системы и качества обслуживания) [2–3].

Анализ научной литературы показал, что авторы в своих исследованиях используют разные методы для оценки развития и преимуществ ИТС: опрос при изучении преимуществ, расчет стоимости транспортных заторов; оценка социально-экономической рентабельности инвестиций в развитие ИТС. Для проведения комплексного анализа затрат и выгод необходимы дополнительные методы для оценки безопасности, загрязнения окружающей среды, эффективности дорожного движения и определения стоимостной выгоды. В некоторых странах ценность человеческой жизни определяется экономическим ущербом, причиненным пострадавшим или погибшим в дорожно-транспортном происшествии. Также отмечается, что одного анализа затрат и выгод недостаточно для определения влияния ИТС на экономику региона на макроэкономическом уровне. Анализ затрат и результатов имеет ограничения, такие как невозможность учесть определенные воздействия, следовательно, при экономической и социальной оценке ИТС анализ затрат и результатов необходимо сочетать с другими методами (многокритериальный анализ) [4–6].

Целью исследования является оценка факторов, определяющих развитие интеллектуальных транспортных систем на основе теоретического обоснования. Был проведен анализ научной литературы, включая принципы классификации, преимущества, назначение, мировой опыт применения ИТС, на основе которого создана система факторов, определяющих развитие данных систем.

В ходе исследования была создана анкета, в которой были перечислены факторы, влияющие на развитие ИТС. Экспертам было предложено оценить каждый фактор по шкале от одного до десяти (1 – фактор совершенно не важен для развития ИТС, 10 – фактор очень важен для развития ИТС). Анализируя результаты опроса, можно отметить, что наиболее высокие оценки эксперты дали следующим факторам: активное участие государственного сектора, инвестиции, эффективное межрегиональное сотрудничество в сфере ИТС, стремление повысить безопасность дорожного движения, развитая транспортная инфраструктура региона (города). По мнению экспертов, наименьшее развитие ИТС определяют следующие факторы: развитие туризма, скорость интернета. Расчет коэффициента конкордации Кендалла показал, что мнения экспертов взаимно согласованы и их оценки могут быть использованы в дальнейших расчетах.

Литература

1. *Безопасные* качественные дороги. Официальный портал. – URL: <https://bkdrf.ru/> (дата обращения: 26.06.2022).
2. *Лебедева О.А.* Повышение эффективности работы транспортной сети посредством применения интеллектуальных систем // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2018. – № 12. – С. 189–191.
3. *Katerna O.* Intelligent Transport System: the problem of definition and formation of classification system // Economic Analysis. – 2019. – Vol. 0259(29(2)). – P. 33–43.
4. *Лебедева О.А., Полтавская Ю.О., Гаммаева З.Н., Кондратенко Т.В.* Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2018. – Т. 1, № 15. – С. 125–130.
5. *Toulouki M.A., Vlahogianni E.I., Gkritza K.* Perceived socio-economic impacts of cooperative Intelligent Transportation Systems: A case study of Greek urban road networks // 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems. – Piscataway: IEEE, 2017. – P. 733–737.
6. *Wang X., Zhang F., Li B., Gao J.* Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China // Case Studies on Transport Policy. – 2016. – Vol. 5 (1). – P. 38–44.

* Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-3495.2022.4).

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ РАСШИРЕННОГО АВТОМАТА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АЛГОРИТМУ ПОИСКА ФИКТИВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ БУЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

В.И. Тишкова, С.А. Прокопенко

Томский государственный университет, Томск, Россия
valeriatshk@gmail.com

APPLICATION OF THE EXTENDED FSM FOR LEARNING THE ALGORITHM FOR FINDING DUMMY VARIABLES OF A BOOLEAN FUNCTION

V.I. Tishkova, S.A. Prokopenko

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Поиск фиктивных переменных булевой функции [1] является актуальным при решении задач анализа и синтеза цифровых схем. Образовательный онлайн ресурс может позволить студенту отработать навык поиска фиктивных переменных булевой функции. В связи с этим от разработчика ресурса требуется создать «дружественный» интерфейс, обеспечить студента достаточным количеством материала для освоения темы и обеспечить проверку действий студента с возможностью подсказок. Для того чтобы автоматизировать проверку действий студента, необходимо формально описать механизм проверки. В данной работе в качестве такого формального описания предлагается использовать расширенный автомат [2], который представлен на рис. 1.

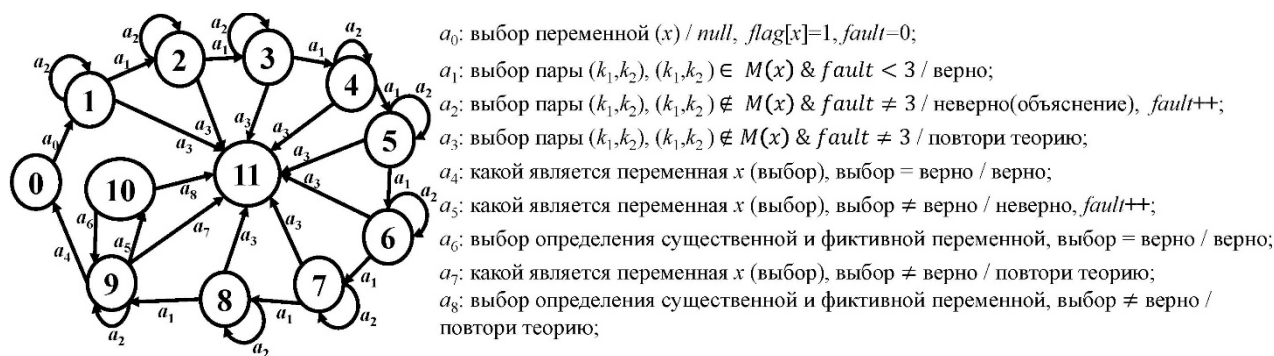


Рис. 1. Расширенный автомат, используемый для проверки действий студента

Данный расширенный автомат содержит 11 состояний; 4 входных символа: *выбор переменной (x)*, *выбор пары (k_1, k_2)* , *какой является переменная (выбор)*, *выбор термина существенной/фиктивной переменной*; и 5 выходных символов: *верно*, *неверно (объяснение)*, *повтори теорию*, *неверно*, *null* (обозначает, что не требуется давать студенту какое-либо пояснение). В автомате имеются две контекстные переменные $flag$ (массив из четырех элементов, каждый из которых соответствует номеру переменной, так как рассматриваются только функции четырех аргументов) и $fault$ (количество совершенных студентом ошибок, не более трех). Параметрами входных символов являются значения, которые выбирает студент в окне браузера (переменная булевой функции, пара наборов для сравнения, существенная или фиктивная переменная), а параметрами выходных символов служат пояснения, которыми сопровождаются неправильные действия студента. В автомате содержится 31 переход, пометки на которых представлены на рис. 1. В состоянии 0 расширенного автомата можно выбрать очередную переменную булевой функции четырех аргументов, которую студент будет проверять. Состояния 1–8 соответствуют действиям студента по выбору пар наборов значений аргументов функции для сравнения [1]. В случае успешного выполнения этого задания автомат переходит в состояние 9, которому соответствует действия по уточнению, какой является исследуемая переменная (существенной или фиктивной). После верного определения студентом типа переменной, автомат переходит в состояние 0, где можно выбрать следующую переменную для исследования. При совершении студентом трех ошибок автомат из любого состояния переходит в состояние 11, в котором не определены никакие дальнейшие действия (студент направляется на изучение теории).

В дальнейшем предполагается программно реализовать режим обучения студента.

Литература

1. Быкова С.В., Буркатовская Ю.Б. Булевы функции: учеб.-метод. пособие. Ч. 1. – Томск: Том. гос. ун-т, Фак. прикладной матем. и кибернетики, 2002. – 39 с.
2. Petrenko A., Boroday S., Groz R. Confirming Configurations in EFSM Testing // IEEE Trans. Software Eng. – 2004. – № 30(1). – P. 29–42.

БИНАРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ю.М. Краковский¹, О.Н. Куклина²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

²Читинский институт (филиал) Байкальского государственного университета, Чита, Россия
79149267772@yandex.ru

THE BINARY FORECASTING OF DYNAMIC INDICATORS BASED ON PROBABILISTIC NEURAL NETWORK

Y.M. Krakovsky¹, O.K. Kuklina²

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

²Chita Institute of Baikal State University, Chita, Russia

Пусть известен временной ряд некоторого показателя: $Q = \{q_t : t \in T\}$. Здесь q_t – значения показателя, заданные в моменты времени t ; время t принимает значения из множества $T = \{0, \dots, n - 1\}$; n – количество значений показателя; все значения показателя $q_t > 0$. Обозначим интервал возможных значений показателя в будущем $(c_1; c_2)$, где $c_1 > 0$, $c_2 < \infty$; введем внутреннюю точку $c : c_1 < c < c_2$. Это позволяет разделить интервал на два других интервала

$$I^l = (c_1; c], I^r = (c; c_2) \quad (1)$$

Тогда бинарное (интервальное) прогнозирование заключается в оценке прогнозных значений показателя на основе вероятностей принадлежности одному из двух интервалов (1). Так как при такой процедуре определяется не само будущее значение показателя, а то, в каком интервале оно будет находиться, такое прогнозирование названо бинарным или интервальным [1]. Нейронным сетям и прогнозированию на их основе посвящено множество работ, включая применение вероятностных нейронных сетей [2, 3].

Эти сети включают четыре слоя: входной слой, в котором количество нейронов определяется количеством введенных исходных значений; скрытый слой; суммирующий слой, где определяется вероятность принадлежности входного вектора к тому или иному классу; выходной слой, на котором проводится сравнение вероятностей и выводится результат.

На рис. 1 приведены вкладки программы для бинарного прогнозирования, которая разработана на языке программирования Python с использованием сторонних библиотек с открытым исходным кодом.

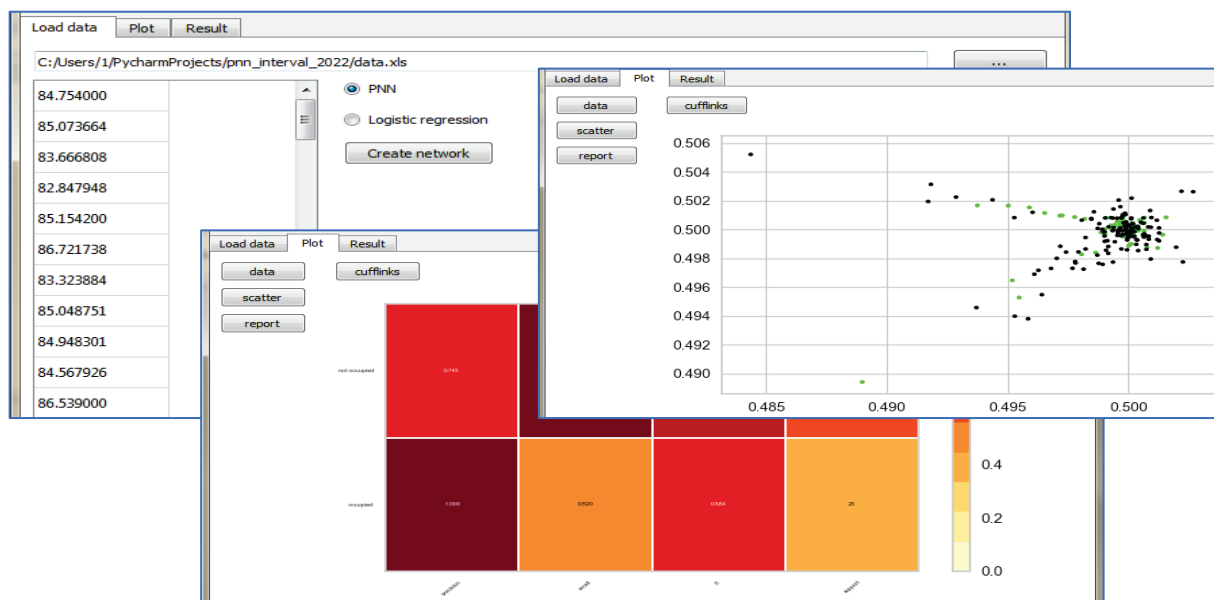


Рис. 1. Вкладки программы для бинарного прогнозирования

Построение вероятностной нейронной сети (PNN) выполнено с использованием библиотек *neuru* и *sklearn*; для обработки и анализа данных используется библиотека *pandas*. Для визуализации машинного обучения предложено использовать *yellowbrick*. *classifier* и библиотеку *cufflinks*. В результате работы PNN показано, что в 93,3% случаях получены правильные результаты.

Литература

1. Krakovsky Y., Luzgin A. Robust interval forecasting algorithm based on a probabilistic cluster model // Journal of statistical computation and Simulation. – 2018. – Vol. 88, № 12. – P. 2309–2324. – DOI: 10.1080/00949655.2018.1462809

2. *Ivanyo Y.M., Krakovsky Y.M., Luzgin A.N.* Interval forecasting of cyber-attacks on industrial control systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Simulation and automation of production engineering). – 2018. – Vol. 327. – P. 022044. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022044
3. *Munkhdorj B., Yuji S.* Cyber attack prediction using social data analysis // Journal of High Speed Networks. – 2017. – Vol. 23, № 2. – P. 109–135.

ИТЕРАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПАРТИИ ТОВАРА С ОГРАНИЧЕННЫМ СРОКОМ РЕАЛИЗАЦИИ

К.И. Лившиц

Томский государственный университет, Томск, Россия
kim47@mail.ru

ITERATIVE ALGORITHM FOR DETERMINING THE OPTIMAL VOLUME OF A BATCH OF GOODS WITH A LIMITED IMPLEMENTATION PERIOD

K.I. Livshits

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Задача розничной продажи товара с ограниченным сроком годности формулируется следующим образом [1]. Продавец, приобретая (производя) партию товара Q по цене d за единицу продукции, перепродает ее по розничной цене c . Считается, что время реализации продукции T ограничено. По истечении времени T товар не может быть реализован, а продавец может нести дополнительные затраты d , связанные с утилизацией непроданной единицы продукции. Необходимо определить оптимальный размер партии товара Q и розничную цену c , которые обеспечивают продавцу максимальную среднюю прибыль. Сложность задачи определяется в основном тем, что для ее точного решения необходимо знать статистические характеристики спроса на товар. Для различных моделей спроса на товар решение задачи содержится, например, в работе [1].

Будем считать, что поток покупателей является пуассоновским потоком интенсивности $\lambda = \lambda(c)$, которая зависит от розничной цены товара. Покупатели покупают товар независимо друг от друга, объем покупки ξ есть случайная величина с моментами $M(\xi) = a$, $M(\xi^2) = a_2$. При $\lambda T \gg 1$, когда распределение спроса может быть аппроксимировано нормальным распределением со средним $m_x = \lambda T a$ и дисперсией $\sigma_x^2 = \lambda T a_2$, оптимальный размер партии товара $Q = \lambda T a + \sqrt{\lambda T a_2} \Psi\left(1 - \frac{d+b}{c+b}\right)$, где $\Psi(x)$ – функция, обратная к функции Лапласа. Еще одной характеристикой, которая представляет большой интерес при анализе задачи продажи партии товара с ограниченным сроком реализации является случайное время $t(Q)$ реализации партии товара размера Q . Можно показать [1], что при $Q \gg 1$ $t(Q)$ имеет асимптотически нормальное распределение со средним значением m_t и дисперсией σ_t^2 равными соответственно $m_t = \frac{Q}{\lambda a}$, $\sigma_t^2 = \frac{Q a_2}{\lambda^2 a^3}$.

Из приведенных выше соотношений вытекает, что для определения величины оптимальной партии товара необходимо, даже в асимптотическом случае $\lambda T \gg 1$, знать такие характеристики потока покупателей как: $\lambda T a$ и $\lambda T a_2$. Если они заранее неизвестны, а процесс продаж повторяется неоднократно, то можно попытаться определить размер оптимальной партии товара по результатам торговых сессий.

Рассмотрим следующий естественный алгоритм определения оптимального объема партии товара, предлагаемой на продажу.

Пусть на шаге с номером m на продажу была выставлена партия товара размера Q_m . Тогда в конце торговой сессии возможны два варианта:

- 1) товар был продан в количестве $x_m < Q_m$, то есть остался непроданный товар в количестве $Q_m - x_m$;
- 2) весь товар был продан, продажа товара окончилась в момент времени $t_m < T$, то есть на время $T - t_m$ товара не хватило.

Тогда на шаге с номером $m+1$ на продажу выставляется партия товара $Q_{m+1} = Q_m - k(Q_m - x_m)I(Q_m - x_m) + k \frac{Q_m}{t_m}(T - t_m)I(T - t_m)$, где $0 < k < 1$ – некоторая постоянная, $I(x)$ – единичная ступенчатая функция.

Таким образом, при наличии непроданного товара на шаге m его количество на следующем шаге уменьшается на величину пропорциональную остатку $Q_m - x_m$, а при недостатке продаваемого товара его количество на следующем шаге увеличивается пропорционально величине недостающего товара на время $T - t_m$.

Пусть $Q_m = \gamma_m T$. В работе показано, что при $\lambda T \gg 1$ и $m \rightarrow \infty$ $M\{\gamma_m\} \rightarrow \lambda a$, $M\{(\gamma_m - \lambda a)^2\} \rightarrow 0$.

Литература

1. *Kitaeva A., Livshits K., Ulyanova E.* The Multiproduct Newsboy Problem with Price-Depended Demand and Fast Moving Items // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 800. – P. 297–311.

УЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

С.Н. Эльхутов, А.А. Лаврик, П.В. Луценко

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Российская Федерация
mexclot@gmail.com

CONSIDERATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CRANK GEAR WHEN ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF PISTON MACHINES

S.N. Elkhutov, A.A. Lavrik, P.V. Lutsenko

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation
gesters3@mail.ru

В настоящее время для качественной оценки технического состояния оборудования применяют различные методы неразрушающего контроля. Однако эффективность их применения зависит от вида оборудования, так, например, получивший широкое распространение акустический метод показывает высокие результаты при определении неисправностей в машинах роторного типа, но на многих предприятиях нефтепереработки в технологических процессах применяется оборудование поршневого типа, где использование этого способа является низкоэффективным [1]. На первый план выходит вопрос о разработке и внедрении на производства способов, которые повысят качество оценки технического состояния поршневого оборудования.

Прежде чем проводить реализацию новых способов оценки необходимо получить теоретические данные о влиянии дефектов на параметры контролируемого поршневого объекта, в частности, на угловую скорость вращения вала и ускорение поршня, для этого необходимо провести исследование с помощью математической модели которое описывает изменение положения кривошипно-шатунного механизма [2].

Для определения влияния дефектов на работоспособность поршневой машины необходимо описать процессы происходящие в момент работы кривошипно-шатунного механизма через математические выражения, учитывающие расстояние между центральными осями поршня и кривошипно-шатунного механизма. Схематическое изображение вращения представлено на рис. 1.

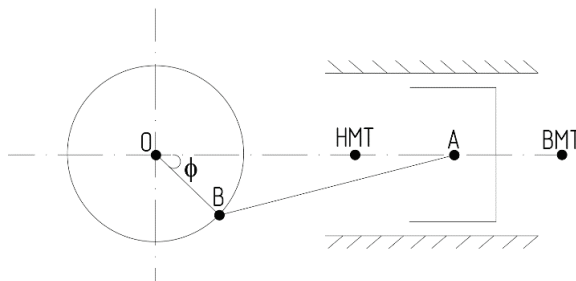


Рис. 1. Изображение перемещения поршня и его отклонение от центральной оси при изменении угла поворота коленчатого вала

Рассматривая процесс перемещения кривошипно-шатунного механизма с математической точки зрения можно вывести выражение перемещения при отсутствии смещения оси поршня от центральной оси вала поршневой машины:

$$AO = \sqrt{AB^2 + BO^2 - 2 \cdot AB \cdot BO \cdot (|180^\circ - \varphi| - a \sin(\frac{BO \cdot |\sin(\varphi)|}{AB})} \quad (1)$$

Полученное выражение позволяет описать перемещение шатуна и поршня. Выражение можно использовать для получения теоретических данных о влиянии возникающих дефектов на работу кривошипно-шатунного механизма. Полученные результаты позволят оценить фактическое техническое состояние эксплуатируемой поршневой машины с данными в момент ввода в эксплуатацию.

Литература

1. Науменко А.П. Методология виброакустической диагностики поршневых машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск «Двигатели внутреннего сгорания». – 2007. – М.: Изд-во МГТУ. – С. 85–93.
2. Эльхутов С.Н., Лаврик А.А. Определение технического состояния поршневых машин по результатам измерения угловой скорости вала // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – № 8. – С. 129–130.

ПЬЕЗОСОРБЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ГАЗАХ

Т.С. Воронова, В.Г. Мазур, А.Д. Пудалов

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
systems-ntfs@mail.ru

PIEZOSORPTION DETECTOR FOR ORGANIC SOLVENTS IN GASES

T.S. Voronova, V.G. Mazur, A.D. Poudalov

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

В измерительных системах неразрушающего контроля широко применяется пьезосорбционный метод. На его основе разрабатываются чувствительные элементы для анализа концентраций неорганических и органических паров [1–3].

В Ангарском ОКБА (ООО «НПП ОКБА») авторами проведены исследования датчиков с сорбентами на основе полиметилсилоксана и полифенилсилоксана в хроматографическом режиме при анализе смесей алифатических и ароматических углеводородов. Полученные данные показывают, что, несмотря на достаточно высокую чувствительность этих датчиков, они не могут использоваться в хроматографическом детекторе из-за недостаточного быстродействия. При скачкообразном увеличении концентрации на входе в детектор постоянная времени составляет несколько секунд, а при уменьшении концентрации постоянная времени возрастает до 1,5 мин.

Было модифицировано сорбционное покрытие путем прививки жидких хроматографических фаз. В качестве сорбента использовался однороднопористый ксерогель полиметилаллилсилоксана.

Для проведения экспериментов разработан и изготовлен макет детектора. В этом детекторе использовалась термостатируемая рабочая камера. Чувствительный элемент размещался в этой камере таким образом, чтобы обеспечивалось непосредственное попадание газа-носителя после хроматографической колонки в центральную область пьезоэлемента.

В качестве представителей классов органических веществ при исследованиях использовались: гексан – контрольное вещество, бензол, трихлорэтилен, метилэтилкетон и этанол. Жидкие смеси этих веществ вводились в испаритель хроматографа с помощью микрошприца МШ-1. Объем дозы, вводимой в испаритель, составлял от 0,4 до 1 мкл.

Были определены динамические характеристики детектора при скачкообразном увеличении и уменьшении концентрации гексана и этанола на входе в детектор. При увеличении концентрации от 0 до 1000 млн-1 постоянная времени детектора составила 6 секунд по гексану и этанолу. При уменьшении концентрации от 1000 млн-1 до 0 постоянная времени детектора по гексану составила 6 секунд, а по этанолу 10 секунд.

Проводилось сравнение характеристик пьезосорбционного детектора с сорбционным покрытием на основе ксерогеля полиметилаллилсилоксана, модифицированного скваланом, с детектором, в котором в качестве сорбционного покрытия был использован только сквалан (масса сквалана в обоих случаях была одинакова).

Оказалось, что при одинаковых условиях эксперимента детектор с сорбционным покрытием на основе модифицированного ксерогеля полиметилаллилсилоксана превосходит детектор со скваланом по чувствительности на порядок, обладает меньшим дрейфом нуля (в шесть раз), а по инерционности немного уступает детектору со скваланом (постоянная времени в 1,5 раза больше).

Литература

1. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
2. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М., 2019. – 10 с.
3. Воронова Т.С., Мазур В.Г., Пудалов А.Д. Исследование сорбционных покрытий пьезокварцевого резонатора с целью разработки приборов контроля органических примесей в газах // Измерительная техника. – 2019. – № 4. – С. 67–71.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЦИОННО-ЕМКОСТНОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ВЛАЖНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Т.С. Воронова, В.Г. Мазур, А.Д. Пудалов

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
systems-ntfs@mail.ru

THE USE OF THE SORPTION-CAPACITIVE METHOD OF NON-DESTRUCTIVE TESTING IN THE ANALYSIS OF HUMIDITY OF ORGANIC SOLVENTS

T.S. Voronova, V.G. Mazur, A.D. Poudalov

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Наиболее распространенным методом измерения влажности газов является метод К. Фишера, однако он имеет ряд особенностей, например, анализируемые образцы утрачивают свои физико-химические свойства и метод не может осуществлять контроль влагосодержания газа в потоке. Одним из методов, лишенных указанных недостатков, является сорбционно-емкостной метод (СЕМ), который широко используется для определения относительной влажности газов [1].

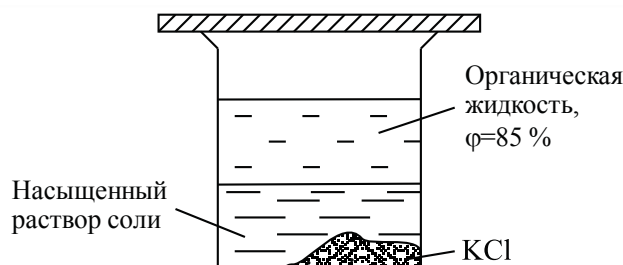


Рис. 1. Влажность органической жидкости над насыщенным раствором соли

Для подтверждения возможности использования СЕМ для анализа влажности органических растворителей, были приготовлены образцы органических жидкостей заданной влажности. Для этого был применен метод с использованием насыщенных растворов солей [2]. В статье [3] было показано, что органическая жидкость, находящаяся над насыщенным раствором соли, имеет ту же влажность, которую создает этот насыщенный раствор соли в газе, рис. 1.

В качестве чувствительных элементов были использованы сорбционно-емкостные чувствительные элементы (СЕЧЭ) фирмы ОАО «Практик-НЦ» – HS-03.

В ходе эксперимента использовались насыщенные растворы следующих солей: LiBr, LiCl, MgCl₂, NaBr и KCl. Эти соли были выбраны из тех соображений, что их насыщенные растворы создают точки влажности, равномерно охватывающие диапазон от 0 до 100%.

Опыты проводились при температуре плюс $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, при которой указанные соли создают влажности 6%, 12%, 33%, 59% и 85% [4]. Выбранные растворы солей были добавлены в следующие образцы органических жидкостей: гексан, бензол, толуол и авиационный керосин.

Эксперимент проводился по следующей схеме. Водяным термостатом ТС-16 задавалась температура исследуемых органических жидкостей, равная плюс $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Контроль температуры осуществлялся лабораторным термометром ТЛ-4 №2. СЕЧЭ погружался сначала в осушенный раствор органической жидкости, где фиксировались показания, затем последовательно в остальные растворы. Так как используемые в экспериментах СЕЧЭ обладают гистерезисом, который составляет 1%, то измерения проводились по мере повышения влажности образцов.

В результате проведенных исследований была установлена возможность применения сорбционно-емкостного метода неразрушающего контроля при измерениях влажности органических растворителей.

Литература

1. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
2. Гриднев А.С., Мандрохлебов В.Ф. Солевые генераторы влажного воздуха // Измерительная техника, 1982. – № 9. – С. 24–28.
3. Пудалов А.Д., Тур А.А., Мазур В.Г. Приготовление образцов органических жидкостей заданной влажности // Вестник Ангарской государственной технической академии. – 2014. – № 8. – С. 24–28.
4. Никольский Б.П. [и др.]. Справочник химика. – Л.: Химия, 1965. – 1008 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА ПОРШНЕВОЙ МАШИНЫ

С.Н. Эльхутов, П.В. Луценко, В.О. Сошников, А.А. Лаврик

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
elsn2000@outlook.com, lutsenko.pasha@gmail.com, vla-sou@mail.com, mexclot@gmail.com

RESEARCH OF THE FEATURES OF THE VIBRATION SIGNAL OF A PISTON MACHINE

S.N. Elkhutov, P.V. Lutsenko, V.O. Soshnikov, A.A. Lavrik

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Большинство промышленных предприятий используют способ обслуживания промышленного оборудования по фактическому состоянию, который требует применение одного или нескольких методов неразрушающего контроля. Существующие на данный момент методы неразрушающего контроля показывают низкую эффективность при диагностике технического состояния поршневых компрессоров и насосов [1, 2].

В предлагаемом подходе исследуются данные ускорения перемещения оси вращения вала, регистрируемые двух или трехосевым акселерометром, на основе которых выявляются зарождающиеся дефекты.

Для данных ускорения создается база данных, информацию из которой можно представить в графическом виде (рис. 1, а). Также важно исследовать форму вибрационной энергетической орбиты после наложения цифрового фильтра, который выделяет сигнал только на характерных частотах, индивидуально для каждого промышленного агрегата (рис. 1, б). Эта форма может нести информацию о состоянии подшипников вала. В реальных условиях расположение оси вращения вала имеет некоторое отклонение от центра [3].

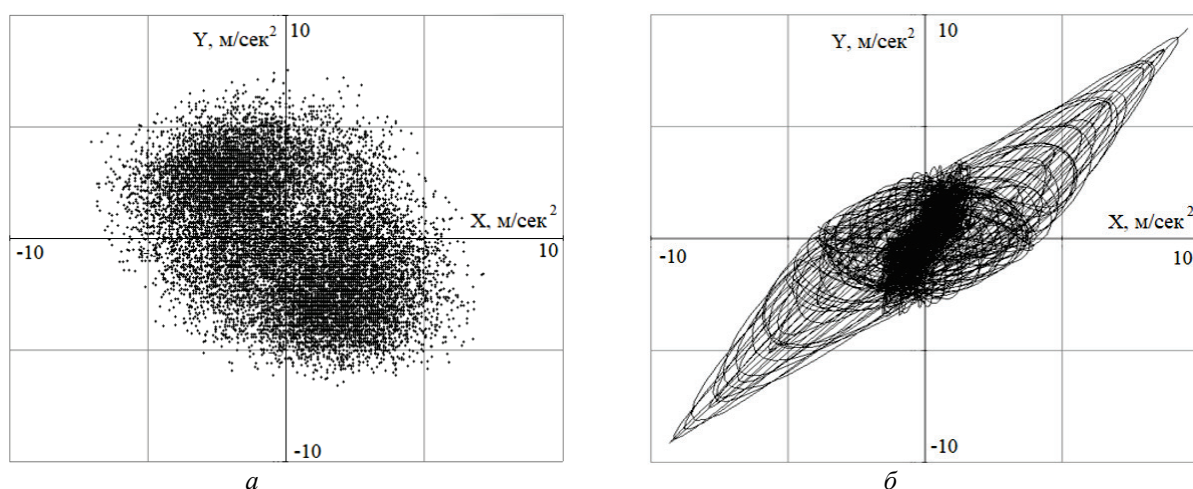


Рис. 1. Данные ускорения перемещения вала в горизонтально-вертикальной плоскости без фильтра (а), с фильтром (б)

Как правило, в реальных условиях эксплуатации ось вращения вала описывает эллипс. По графику можно увидеть степень отклонения от окружности – чем большее отклонение, тем выше вероятность наличия зарождающегося дефекта.

Литература

1. Барканов Е.Н., Думитреску А., Паринов И.А. Неразрушающий контроль и ремонт трубопроводов. – Нью-Йорк: Springer International Publishing, 2018. – 450 с.
2. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь: ДимРус, 2012. – 15 с.
3. Эльхутов, С.Н., Луценко П.В. Проведение неразрушающего контроля насосов и компрессоров поршневого типа по данным перемещения оси вращения вала // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – Ангарск: АНГТУ, 2022. – С. 57–63.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

С.Н. Эльхутов, В.О. Сошников, П.В. Луценко, А.А. Лаврик

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
elsn2000@outlook.com, vla-sou@mail.ru, lutsenko.pasha@gmail.com, mexclot@gmail.com

FEATURES OF APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING SYSTEMS FOR DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRIC MACHINES

S.N. Elkhutov, P.V. Lutsenko, V.O. Soshnikov, A.A. Lavrik

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

В значительной части промышленного оборудования в качестве приводных устройств применяются электродвигатели [1, 2]. Техническое состояние электродвигателя напрямую влияет на работоспособность приводимого им оборудования.

В настоящее время для оценки технического состояния промышленного оборудования получил метод вибродиагностики [3, 4]. Как правило, этот метод применим для диагностики механической составляющей электродвигателя и приводимого им оборудования.

Однако электрическая часть машины диагностируется недостаточно эффективно. Для выявления зарождающихся дефектов в электродвигателе может быть использован подход, основанный на исследовании спектра потребляемого тока.

В таком подходе для регистрации формы электрического тока может быть применен как резистивный датчик тока, так и трансформатор тока, который измеряет величину тока в обмотках электродвигателя, затем с помощью быстрого преобразования Фурье строится спектр тока, который подвергается анализу (рис. 1). При анализе спектра тока выделяются гармоники, изменяющие амплитуду при возникновении неисправностей в электрической части машины.

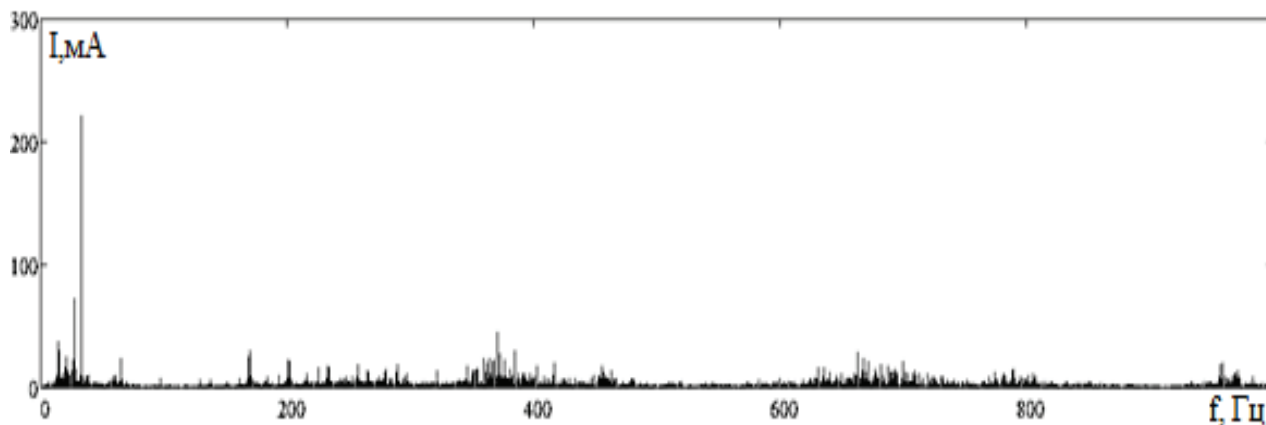


Рис. 1. Спектр тока электродвигателя

С целью автоматизации диагностики рассчитывается вклад выделенных гармоник в общее среднеквадратическое значение спектра. На основании рассчитанного вклада можно сделать вывод о техническом состоянии электрической машины.

Литература

1. Барканов Е.Н., Думитреску А., Паринов И.А. Неразрушающий контроль и ремонт трубопроводов. – Нью-Йорк: Springer International Publishing, 2018. – 450 с.
2. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь: ДимРус, 2012. – 15 с.
3. Эльхутов, С.Н., Луценко П.В. Проведение неразрушающего контроля насосов и компрессоров поршневого типа по данным перемещения оси вращения вала // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – Ангарск: АНГТУ, 2022. – С. 57–63.
4. Эльхутов, С.Н., Луценко П.В. О проведении неразрушающего контроля насосов и компрессоров поршневого типа по данным перемещения оси вращения вала // Современные технологии и научно-технический прогресс. – Ангарск: АНГТУ, 2022. – С. 151–152.

ЭКСТРАКЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИЗ СХЕМ НА ТРАНЗИСТОРНОМ УРОВНЕ

Д.И. Черемисинов, Л.Д. Черемисинова

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

EXTRACTION OF LOGIC NETWORKS FROM TRANSISTOR CIRCUITS

D.I. Cheremisinov, L.D. Cheremisinova

The United Institute of Informatics Problems of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Мощным инструментом перепроектирования и верификации топологии СБИС является ее декомпиляция, в процессе которой по плоскому структурному описанию на транзисторном уровне восстанавливается описание на уровне логических элементов. Первый этап декомпиляции СБИС [1] состоит в распознавании в транзисторной смене подсхем, реализующих логические элементы или псевдоэлементы – часто встречающимся фрагменты, функции которых не удается установить. Выделенные подсхемы составляют библиотеку элементов второго уровня, на основе которой формируется двухуровневое описание транзисторной схемы. В настоящей работе рассматривается задача извлечения схем, состоящих только из логических элементов, из двухуровневого описания транзисторной схемы, полученной в результате первого этапа декомпиляции [1]. Рассматривается наиболее распространенный стиль логики – КМОП-структуры. Исходная плоская и результирующая иерархическая транзисторные схемы представляются в формате проектирования SPICE, сгенерированные логические схемы – в формате логических уравнений на языке SF [2], который затем переводится в описания на языках VHDL или Verilog.

В графовой интерпретации транзисторная схема в формате SPICE представляется помеченным неориентированным двудольным графом $G = (V_1, V_2, E)$, $V_1 \cap V_2 = \emptyset$. Вершины из V_1 соответствуют входам и выходам схемы, выводам транзисторов, группам, составляющих выделенные элементы. Вершины из V_2 соответствуют цепям. Логическая сеть задается помеченным ориентированным графом $H = (W, A)$, где множество вершин W разбито на три подмножества, соответствующих входам, выходам сети и элементам. Каждая вершина из первых двух подмножеств помечена входной или выходной переменной сети. Вершины из третьего подмножества помечены функциями, реализуемыми соответствующими элементами сети. Каждая из дуг $a = (u, v) \in A$ графа направлена от вершины $u \in W$ к вершине $v \in W$, если выход вентиля, соответствующего вершине u связан со входом вентиля, соответствующего вершине v графа.

Ориентированный граф $H = (W, A)$ логической сети строится из неориентированного графа $G = (V_1, V_2, E)$, соответствующего двухуровневой транзисторной схеме, путем извлечения из него подграфа, включающего только те вершины из V_1 , которые соответствуют логическим вентилям. Так как помимо таких вершин в множестве V_1 могут быть и другие вершины, то извлекаемая логическая сеть в общем случае будет описываться несколькими связными графами $H = (W, A)$. Каждый такой граф получается из неориентированного подграфа $H^* = (W, A^*)$, соответствующего компоненте связности графа $G = (V_1, V_2, E)$, путем ориентации его ребер. Поиск компонент связности $H^* = (W, A^*)$ в графе $G = (V_1, V_2, E)$ осуществляется в процессе его обхода по входящим и исходящим путям от вершин, помеченных как элементы (передаточные или КМОП вентили). Поиск очередной связной компоненты в графе G начинается с любой нерассмотренной вершины, помеченной как элемент, и выполняется методом поиска в ширину с учетом только тех вершин, что помечены как элементы. Такой метод позволяет не только найти компоненту связности $H^* = (W, A^*)$, но и получить лексикографическое упорядочение ее вершин, учитывающее достижимость вершин друг из друга, и соответственно ранжировать граф по уровням.

Следующая задача, связанная с определением входов и выходов сети, решается путем рассмотрения полуокрестностей исхода и захода вершин графа $H = (W, A)$. Если все вершины из окрестности вершины $v \in W$ помечены как элементы, то v является внутренней. Не внутренние вершины $v \in W$ порождают входы или выходы логической сети, в зависимости от того, какая из полуокрестностей вершины v содержит невнутреннюю вершину. От полученной лексикографически упорядоченной сети логических элементов производится переход к логическим уравнениям, задающим функции, реализуемые на выходных полюсах.

Литература

1. Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д. Извлечение сети логических элементов из КМОП схемы транзисторного уровня // Микроэлектроника. – 2019. – Т. 48, № 3. – С. 224–234.
2. Библио П.Н., Романов В.И. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 279 с.

ТРИАНГУЛЯЦИЯ КАК СПОСОБ КОМПОЗИЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Л.И. Седова¹, Ж.Э. Уморина²

^{1,2}УрГАХУ имени Алфёрова, Екатеринбург, Россия
¹Lisa4712@yandex.ru, ²umorina87@yandex.ru

TRIANGULATION AS A METHOD OF COMPOSITIONAL MODELING IN PARAMETRIC ARCHITECTURE

L.I. Sedova¹, J.E. Umorina²

^{1,2}Ural State University of Architecture and Art, Ekaterinburg, Russia
Lisa4712@yandex.ru, umorina87@yandex.ru

Композиционное моделирование – это сложная психическая деятельность, осуществляемая по законам целостности и выразительности. Целостность – это формальная составляющая, которая обеспечивается строгой соподчиненностью всех частей, базируется на математических характеристиках гармонии. Способ достижения целостности – структурность. Ритм, пропорция, подобие, соразмерность – понятия, без которых невозможен процесс создания систем структурирования. Основой структурной упорядоченности архитектурной композиции чаще всего выступает модульная сетка или решетка (плоская сетка, трехмерная сетка, пространственная решетка). Типология решеток строится по принципу их использования. Композиционная решетка – основа чертежа, конструктивная – распределение нагрузок, функциональная – организация и использование пространства. Основной целью использования модульных сетчатых структур является гармонизация формы. Структурность можно считать основным, формирующим архитектурную композицию механизмом.

Применение методов цифрового моделирования открывает новые структурные, а значит, композиционные возможности. Метод триангуляции (лат. *ad triangulum* – по треугольнику) предлагает способ пропорционирования (нахождения оптимальных отношений размеров целого и частей) на основе системы равносторонних или равнобедренных треугольников. Так программы Grasshopper в комплекте с Rhino дают возможность построения таких модулей для структурирования с учётом применения композиционных методов выразительности и алгоритмических цифровых подходов. Применяя плагин Weaverbird в программе Grasshopper можно производить топологическое моделирование объекта по модульной сетке (решётке), создавая параметрические модели на базе выбранной системы изменения параметров модульной основы. Например, внесение в определенные части сетки построения новых мотивов в виде фрагментов сеток другого типа, окружностей, концентрических построений в том числе, лучей, ломаных линий и т.п. Модульные решётки можно сформировать в цифровой среде и запрограммировать их изменения по силовым линиям в зависимости от размещения композиции в условиях окружающей среды. Создание композиционной модели объекта в выбранной структурной системе имеет свою последовательность, т. е. уровни разработки замысла. Первый уровень – это компоновка, распределение структурно-типологических элементов в предлагаемой ситуации. Второй уровень – конструкция, схема построения композиции, композиционный каркас. Третий уровень – это собственно композиция. По сути – это творчество формой. В отличие от компоновки композиция обязательно наделена смыслом и обладает определенной выразительностью – степенью эмоционального воздействия. Выразительность раскрывается в характерности, композиционной связности зрительных впечатлений, возникающих при контакте с произведением архитектуры и любого вида искусства. Использование трех возможных направлений образного решения идеи-концепции: философского, символического, эмоционально-образного, также можно отнести к технике триангуляции. Эти три вершины творческого познания дают возможность сформировать концептуально-образную модель любого объекта, складывающуюся из синтеза этических, интеллектуальных, информационных, коммуникационных, идеологических, национальных составляющих, вытекающих из экологического подхода к этике и культуре формообразования. Состоящая из применения различных подходов в рамках одного проекта, данная техника способствует повышению объективности результата и качества проекта.

Применение цифрового проектирования в композиционном моделировании открывает новые горизонты развития науки параметрической композиции. Это создает условия для появления новой чувственно-эмоциональной окрашенности архитектурных образов.

Литература

1. Глазычев В.Л. Архитектурное творчество и организация архитектурного проектирования: автореф. дис. ... д-ра архитектуры (18.00.01) / ЦНИИ теории и истории архитектуры. – М., 1978. – 28 с.
2. Гликин Я.Д. Методы архитектурной гармонии. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-е, 1979. – 136 с.
3. Кац Ф.Б. Творческое самоопределение как свойство параметрической архитектуры [Электронный ресурс]. – URL: http://www.hiteca.ru/2012/03/blog-post_24.html (дата обращения 03.08.2022).
4. Степанов А.В. [и др.] Объемно-пространственная композиция: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1993. – 256 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

М.Ф. Каравай, В.С. Подлазов, В.В. Соколов

Институт проблем управления РАН, Москва, Россия
mkaravay@yandex.ru

DESIGN OF LOCAL HETEROGENEOUS SYSTEM CONTROL NETWORKS OF A NEW GENERATION

M.F. Karavay, V.S. Podlazov, V.V. Sokolov

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Рассмотрены проблемы одной из важнейших составляющих практически любой управляющей системы, в частности, Бортовых Вычислительных Управляющих Систем – БВУС, в таких областях техники как космонавтика, авионика, автономные мобильные аппараты, робототехника, управление оружием, многоядерные микропроцессоры. Это «системная сеть», т.е. своеобразный «хребет» БВСУ, информационно объединяющий множество датчиков, вычислителей, управляющих и исполнительных устройств. Отказ «системной сети» приводит к отказу всего объекта. В подавляющем большинстве случаев архитектура современных сетей была разработана 40 ÷ 30 лет назад, когда требования к динамике и надёжности работы системной сети удовлетворяли техническим условиям того времени.

Современные требования к БВУС постоянно растут. По надёжности — они должны выполнять свои функции в течение 10–15 лет без обслуживания, т.е. быть и «надёжными», и «отказоустойчивыми». По динамике — современные объекты движутся со скоростями 6–7 км/с (или 6–7 м/мс). т.е. время сближения и наведения исчисляется сотнями микросекунд. Следовательно, производительность системной сети должна быть очень высокой. Приходится «следить» за «роем» объектов, насчитывающим от нескольких экземпляров до десятков и сотен их. Такая задача, например, стоит перед будущим «сборщиком мусора» на космических орбитах или слежением за роём беспилотников.

По технологичности и универсальности — «системные сети» должны допускать в определённых границах свободное «масштабирование», т.е. добавление или удаление абонентов сети без изменения архитектуры сети и её программного обеспечения. Современные системные сети, продолжают базироваться на архитектурах типа ГОСТ Р 52070-2003 (МКИО) и отечественных аналогов комплекса сетей ф. ARINC (например, в авиации для МС-21). Все они — шинные или многошинные. Поэтому доступ к шине для передачи информации — последовательный. Все эти сети — последовательные по работе активных абонентов. Отсюда их простота и наименьшая производительность. В подобных случаях магистральным путём повышения производительности таких сетей становится многошинность и переход на высокие частоты, достигающие уже 2–4 ГГц в микропроцессорах, системах памяти, интерфейсах и в самих шинных системных сетях. Это почти предел. Более приемлем интенсивный путь развития, который в электронике и вычислительной технике связан с параллелизмом выполнения задач. Имеется в виду, что рабочие частоты могут быть не сверхвысокими — это современные приборы для частот 10–600 МГц, но работающие в параллельном режиме. В этом частотном диапазоне меньше энергопотребление и уровень излучаемых помех, меньше чувствительность к внешним помехам и большая радиационная стойкость.

В докладе рассмотрен новый класс управляющих сетей — параллельные сети, в которых одновременно активными (передающими) могут быть более одного абонента, вплоть до всех. Зачем нужен параллелизм? Это тоже «магистральный» путь повышения производительности на основе сетей подобного класса. Собственно, подойдя к пределу используемых частот, уже нет (пока, видимо) экстенсивных путей развития. Альтернатива — только параллелизм. Если коротко сформулировать, какими функциональными свойствами должны обладать сети нового поколения, то это следующие.

Возможность автономной параллельной работы абонентов вычислительного ядра для достижения максимальной производительности.

Бесконфликтная параллельная информационная передача от любого абонента ядра к любому абоненту сети. Минимальность сети.

Бесконфликтная самомаршрутизация любого абонента ядра.

Подобных оптимальных по своим функционалам управляющих системных сетей пока нет. В докладе рассмотрены два рабочих подхода к проектированию гетерогенных параллельных управляющих системных сетей, т.е. содержащих (достаточно много) пассивных абонентов сети и активное вычислительно-управляющее ядро, объём которого определяется требуемой максимальной производительностью. Ядро может содержать от 2 до 4–6–10 и более микропроцессоров, частично или полностью работающих в синхронном режиме для решения наиболее ответственных задач, или работать автономно и независимо, решая параллельные задачи и бесконфликтно управляя «пассивными» абонентами. Первый подход основан на архитектуре квазиполных графов [1], второй — на архитектуре квазиполных ориентированных графов. Новизна этих сетей заключается в

повышении производительности за счёт параллельного бесконфликтного взаимодействия вычислительного ядра со всеми абонентами сети, в самомаршрутизации абонентов ядра, в отказоустойчивости и масштабировании сети. Все эти функционалы в совокупности оптимальны.

Литература

1. Karavay M.F., Mikhailov A.M. A. Design of local heterogeneous system control networks of a new generation with the preservation of the optimality of the main network topological functionals // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). – 2021. – Vol. 2091_012038. – P. 1–7.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКА ДАННЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА МЕТОДОМ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРУКТУР

С.С. Катаева¹, С.Г. Катаев^{2,3}, Н.П. Сенчина⁴, А.А. Миллер⁵, Е.Ю. Ермолин⁴

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

³ИМКЭС, Томск, Россия

⁴«ДЖИ М Сервис», Санкт-Петербург, Россия

⁵АО НПП ВНИИГИС, Санкт-Петербург, Россия

sophiaskataeva@gmail.com

SPATIAL ANALYSIS OF THE DATA FLOW OF SPECTROMETRIC GAMMA-RAY LOGGING BY THE METHOD OF REVEALING STRUCTURE

S.S. Kataeva¹, S.G. Kataev^{2,3}, N.P. Senchina⁴, A.A. Miller⁵, E.Yu. Ermolin⁴

¹ Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Tomsk State Pedagogical University, ³ IMCES, Tomsk, Russia

⁴ “GM-Service” Ltd, Saint-Petersburg, Russia

⁵ Joint-Stock Company Scientific Production Enterprise Research and Design Institute of Well Logging, Saint-Petersburg, Russia

Радиоактивные методы разведки широко применяются в геофизике и решают обширный круг геологических задач. В частности, спектрометрическая гамма-съемка в аэроварианте способна решать задачу геологического картирования на обширных территориях.

Любой радиоактивный метод имеет фундаментальное ограничение по точности измерений, связанное со случайным характером радиоактивных процессов. Для аэрометодов это ограничение приводит к необходимости использования детекторов большого объема, или к увеличению времени измерений, то есть уменьшению скорости полета.

Мы предположили, что, используя при спектрометрической гамма-съемки весь регистрируемый диапазон энергий, а не только ограниченные окна, выделяемые при вычислении процентных содержаний радиоактивных элементов, можно осуществить дифференциацию пород, минуя стадию определения процентного содержания U, Th, K, при априорном предположении, что породы сравнительно однородны и имеют характерный для них спектр, определенный для каждой породы.

Таким образом, можно сформулировать следующую задачу: в предположении существования конечного числа пород, сформировать карту таких пород на основе спектров гамма-излучения.

Для решения задачи авторы предлагают использовать комплекс алгоритмов (MRS, BINREL, APFLOW), входящих в метод выявления структур (МВС), ориентированный на отыскание латентных закономерностей в массивах экспериментальных данных, организованных различным образом. Ранее все эти алгоритмы применялись для решения разнообразных частных геофизических задач по отдельности.

Алгоритм MRS осуществляет кластеризацию совокупности объектов, а также позволяет находить структуры, удовлетворяющие заранее сформулированным требованиям. MRS особенно эффективен при обработке многомерных данных, полученных на пространственно разнесенных пунктах наблюдения. Алгоритм BINREL позволяет определять объекты, имеющие отличные от фона свойства. К существенному достоинству этого метода следует отнести возможность находить малоконтрастные объекты. А если данные получены на регулярной пространственной сетке, то появляется возможность оценивать их геометрические размеры. Алгоритм APFLOW был разработан авторами для решения типичной задачи теории массового обслуживания – выявления структуры и определения параметров случайного потока событий. Этот алгоритм далее был адаптирован для решения и других потоковых задач, т.е. когда исходные данные упорядочены и обладают только одним признаком. В задачах гамма каротажа таким признаком является число импульсов, зафиксированных приемником в единицу времени.

Данные, полученные методом аэрогамма-спектрометрии на БПЛА, дают возможность применять совместно все указанные алгоритмы, что позволяет уточнять пространственные границы выделенных областей и контролировать появление артефактов. На самом деле, имеется пространственная регулярность расположения

пунктов измерения, данные в точке многомерные (число признаков равно числу энергетических каналов гамма-спектрометра). А данные по маршруту для каждого канала спектрометра, полученные за один пролет БПЛА, могут рассматриваться как поток числа импульсов в единицу времени.

В работе приводятся результаты применения алгоритмов МВС к такого рода данным на территории Якутии. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что использование алгоритмов МВС позволяет получить больше информации о геологическом строении участка, по сравнению с традиционной обработкой спектрометрических гамма-съемок.

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СТАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ПОТОКОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ

М.С. Лебедев^{1, 2}

¹Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия

²Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия
lebedev@ispras.ru

COMPARISON OF STATIC SCHEDULING ALGORITHMS DURING CONSTRUCTION OF STREAMING COMPUTERS

M.S. Lebedev^{1, 2}

¹Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

В настоящее время традиционный процесс разработки цифровой аппаратуры требует больших затрат времени и ресурсов. Для автоматизации и ускорения этого процесса все чаще используется высокоуровневый синтез (high-level synthesis, HLS) или конструирование аппаратуры (hardware construction, HC). Оба этих подхода заключаются в автоматической трансформации алгоритмического описания (например, на языках C, Chisel, Bluespec и др.) в RTL-модель аппаратуры, разница лишь в уровне абстракции исходного описания (у HLS он выше). Высокоуровневый синтез состоит из следующих этапов [1]: 1) трансформация входного описания в промежуточное представление; 2) определение необходимых вычислительных ресурсов (функциональных блоков, регистров, шин и т.д.); 3) планирование вычислений (операций) во времени; 4) привязка операций к ресурсам; 5) генерация RTL-модели. Ключевым этапом в процессе синтеза является планирование вычислений. Существует множество алгоритмов планирования, наиболее распространенные из них [2]: планирование операций как можно раньше (as-soon-as-possible, ASAP), планирование операций как можно позже (as-late-as-possible, ALAP), планирование на основе списков (list scheduling), целочисленное линейное программирование (integer linear programming, ILP), force directed scheduling (FDS) и другие.

Одним из перспективных направлений использования высокоуровневого синтеза видится создание специализированных вычислителей на основе парадигмы статических потоков данных (static dataflow). В этой парадигме вычислитель представляется в виде графа потока данных, на вход которому поступает (потенциально) бесконечный поток (на каждом такте – порция данных), который непрерывно обрабатывается в узлах графа (функциональных элементах). При этом возникает задача статического планирования потоков на входах элементов таким образом, чтобы на каждом такте на них поступали правильные данные. Для этого рассчитывается время срабатывания каждого функционального элемента, и, в случае расхождения временных характеристик входных потоков, они уравниваются с помощью буферов (очередей FIFO).

В данный момент в ИСП РАН осуществляется разработка прототипа системы высокоуровневого синтеза потоковых вычислителей Utopia EDA. Одной из задач является выбор наилучшего алгоритма статического планирования вычислений. Для оценки были выбраны и реализованы следующие подходы: линейное программирование с помощью библиотеки lp_solve [3]; планирование ASAP с помощью обхода графа в ширину сверху вниз, обхода с топологической сортировкой узлов, алгоритма Дейкстры [4]; планирование ALAP с помощью обхода в ширину снизу вверх. Реализованные методы были протестированы на нескольких примерах, в частности, на примере обратного дискретного косинусного преобразования матрицы 8×8 . Результаты показывают, что метод линейного программирования работает дольше всех, но при этом является точным и добавляет наименьшее количество буферов. Все остальные методы являются неточными (добавляют на 1,54 раза больше буферов), но работают в несколько раз быстрее. Наиболее быстрым методом оказался алгоритм обхода с топологической сортировкой (быстрее линейного программирования в 45 раз). Он же позволяет находить обратные дуги на графе.

Литература

1. Coussy P., Gajski D.D., Meredith M., Takach A. An Introduction to High-Level Synthesis // IEEE Design & Test of Computers. – 2009. – Vol. 26, №. 4. – P. 8–17.

2. De Micheli G. Synthesis and Optimization of Digital Circuits. – McGraw-Hill Higher Education, 1994. – P. 185–228.
3. Библиотека `lp_solve` [Электронный ресурс]. – URL: <http://lpsolve.sourceforge.net> (дата обращения: 10.07.2022).
4. Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C. Introduction to Algorithms, Third Edition. – Cambridge: The MIT Press, 2009. – P. 658–662.

СРАВНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО СИНТЕЗА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ НА ПРИМЕРЕ ОБРАТНОГО ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

A.S. Kamkin^{1, 2, 3, 4, 5}, M.S. Lebedev^{1, 2}, S.A. Smolov^{1, 2}, M.M. Chupilko^{1, 2}

¹Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, г. Москва, Россия

²Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

⁴Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия

⁵Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия
{kamkin, lebedev, smolov, chupilko}@ispras.ru

EVALUATION OF HIGH-LEVEL SYNTHESIS AND HARDWARE CONSTRUCTION TOOLS ON IDCT EXAMPLE

A.S. Kamkin^{1, 2, 3, 4, 5}, M.S. Lebedev^{1, 2}, S.A. Smolov^{1, 2}, M.M. Chupilko^{1, 2}

¹Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴Moscow Institute for Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

⁵National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Одним из направлений развития вычислительных систем является повышение производительности за счет использования специализированных аппаратных ускорителей (в том числе на базе ПЛИС). Данные компоненты разрабатываются для решения конкретных задач с учетом ограничений на энергопотребление и другие характеристики. Из-за невысокой серийности ускорителей традиционный маршрут проектирования оказывается для них нерентабельным. Выходом видится автоматизированная генерация RTL-моделей по высокоуровневым (алгоритмическим) описаниям, известная как высокоуровневый синтез (high-level synthesis, HLS) или (при использовании описаний, приближенных к схемотехнике) конструирование аппаратуры (hardware construction, HC). Эффективность решения данной задачи во многом зависит от используемого языка описания и лежащей в его основе модели вычислений.

В работе было проведено экспериментальное сравнение следующих языков и инструментов HLS/HC: Chisel [1], Bluespec SystemVerilog (Bluespec Compiler [2]), DSLX (XLS [3]), MaxJ (MaxCompiler [4]) и Си (Bambu [5], Vivado HLS [6]). На каждом из выбранных языков были разработаны две реализации алгоритма обратного дискретного косинусного преобразования. Начальные версии описаний разрабатывались на основе программной реализации, входящей в состав декодера MPEG-2 [7], а оптимизированные версии использовали конвейеризацию. Реализации [8] подавались на вход инструментам HLS/HC, которые синтезировали RTL-модели на языке Verilog. Для оценки характеристик (пропускная способность, максимальная тактовая частота, площадь) реализаций на базе ПЛИС применялся инструмент Vivado [9]. Для сравнения инструментов HLS/HC использовались следующие метрики: уровень автоматизации (компактность реализаций в сравнении с Verilog-моделью, разработанной вручную), управляемость (возможность влиять на характеристики синтезированной схемы с помощью опций и путем модификации кода), гибкость (трудозатраты на модификацию описаний для достижения целевых характеристик).

Эксперименты показали, что наиболее сбалансированным решением среди рассмотренных является коммерческий инструмент Vivado HLS; неплохие результаты показали открытые инструменты Chisel и XLS. Проведенный анализ позволил сформулировать концепцию перспективной среды HLS/HC. На начальном этапе ускоритель описывается на предметно-ориентированном языке высокого уровня. Отдельные блоки могут проектироваться с помощью более низкоуровневых нотаций (XLS, Chisel). Среда применяет к описанию техники трансляции и оптимизации; здесь предлагается использовать промежуточное представление (вычислительный граф), описывающее параллельные вычисления.

Литература

1. Язык Chisel [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/chipsalliance/chisel3> (дата обращения: 28.07.2022).
2. Инструмент Bluespec Compiler [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/B-Lang-org/bsc> (дата обращения: 28.07.2022).
3. Инструмент XLS [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/google/xls> (дата обращения: 28.07.2022).

4. Инструмент MaxCompiler [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.maxeler.com/products/software/maxcompiler> (дата обращения: 28.07.2022).
5. Инструмент Vambu [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/ferrandi/PandA-bambu> (дата обращения: 28.07.2022).
6. Vitis High-Level Synthesis User Guide. – San Jose: Xilinx, 2021. – 692 p.
7. MPEG-2 decoder from ISO/IEC 13818-4:2004 [Электронный ресурс]. – URL: https://courses.ece.uth.gr/CE401/tree_menu/tutorials/MPEG2/13818-5.pdf (дата обращения: 28.07.2022).
8. Реализации алгоритма IDCT [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/ispras/hls-idct> (дата обращения: 28.07.2022).
9. Vivado Design Suite User Guide. – San Jose: Xilinx, 2017. – 24 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ОТРАЖЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ДЛЯ БЕЗОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

И.Ю. Гендрина

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

SIMULATION OF REFLECTED SOLAR RADIATION THROUGH THE CLOUDLESS ATMOSPHERE

I. Gendrina

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В работе представлены результаты моделирования поля отраженной солнечной радиации в условиях безоблачной атмосферы. Для решения обратных задач оптики атмосферы, например, для восстановления оптических и микрофизических свойств аэрозоля и облаков, используют оперативные алгоритмы, основанные на измерении или расчете солнечной радиации. Особенный интерес представляет влияние облаков различного вида на пространственно-угловые характеристики поля отраженной радиации [1, 2]. Для выявления влияния именно облаков желательно иметь базовую параметрическую модель отраженной радиации – для безоблачной атмосферы. Такого вида модель может быть получена, например, в ходе статистической обработки результатов численных экспериментов методом Монте-Карло.

Теоретической базой для проведения численных экспериментов является уравнение переноса излучения в горизонтально однородной модели атмосферы Земли, решение которого в работе проведено методом локальной оценки на сопряженных траекториях. В данной работе была использована плоскопараллельная аэрозольно-молекулярная модель, заданная с помощью следующих характеристик:

- а) коэффициенты аэрозольного рассеяния $\sigma_{sc}(\mathbf{r})$ и ослабления $\sigma_{ext}(\mathbf{r})$;
- б) аэрозольная индикатриса рассеяния $g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\omega}')$;
- в) вертикальные профили температуры и давления для расчета коэффициентов молекулярного рассеяния.

Геометрическая схема численных экспериментов приведена на рис. 1: на верхнюю границу атмосферы падает плоскопараллельный поток солнечного излучения πS_{λ} в направлении, задаваемом зенитным и азимутальным углами $\boldsymbol{\omega}_0 = (\theta_0, \varphi_0)$. Приемник, регистрирующий угловое распределение отраженной солнечной радиации, находится в точке с координатами $D(x_0, y_0, H)$ и производит наблюдение в направлении $\boldsymbol{\omega}_d = (\theta_d, \varphi_d)$.

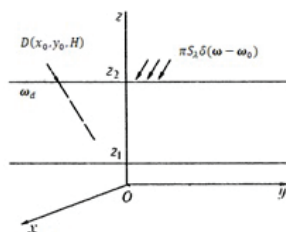


Рис. 1. Геометрическая схема численных экспериментов

Некоторые результаты моделирования поля отраженной солнечной радиации методом Монте-Карло приведены в табл. 1 (исходные данные: длина волны – 0,55 мкм, $\theta_d = 0^\circ$, $\varphi_d = 180^\circ$).

Таблица 1

Угловые характеристики поля отраженной радиации, нормированные на πS_{λ}

φ_0	0°	45°	90°	135°	180°
$\theta_0 = 30^\circ$	0,02121	0,02846	0,03348	0,02846	0,02121
$\theta_0 = 60^\circ$	0,00409	0,00769	0,01414	0,00769	0,00409

Литература

1. Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Русскова Т.В. Влияние 3D-эффектов облаков на пространственно-угловые характеристики поля отраженной солнечной радиации // Оптика атмосферы и океана. – 2016 – № 9. – С. 758–766.
2. Филей А.А. Восстановление оптической толщины и эффективного радиуса частиц облачности по данным дневных измерений спутникового радиометра МСУ-МР // Оптика атмосферы и океана. – 2019 – № 8. – С. 650–656.

ИЗУЧЕНИЕ АТОМНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ДИФФУЗИИ GE НА СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОДЛОЖКАХ SI МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ*

П.Л. Новиков^{1,2}, К.В. Павский^{1,2}, Ч. Юйцзин², У. Цзяй²

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

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
novikov@isp.nsc.ru

STUDY OF GE ATOMIC SURFACE DIFFUSION ON PIT-PATTERNED SI SUBSTRATES USING MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION

P.L. Novikov^{1,2}, K.V. Pavsky^{1,2}, Chen Yujing², Wu Jiayi²

¹Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Метод молекулярной динамики (МД) [1] является эффективным средством изучения элементарных физических процессов, протекающих на молекулярных масштабах в интервале времени от 10^{-15} до 10^{-9} с. Практически он состоит в численном решении уравнения движения в системе многих частиц (атомов). Наряду с неорганическими молекулами предметом моделирования методом МД становятся тонкие кристаллические полупроводниковые пленки, включая морфологические изменения поверхности при гетероэпитаксиальном росте [2]. Число атомов в таких моделируемых системах достигает сотен тысяч, что приводит к необходимости использования параллельных алгоритмов для сокращения машинного времени.

В данной работе представлен алгоритм, осуществляющий распараллеливание процесса поиска соседей в массиве атомов, индексы которых изначально не связаны с их пространственным положением. Алгоритм обеспечивает ускорение счета с увеличением числа ядер на вычислительном кластере.

И использованием параллельного алгоритма изучены атомные конфигурации, образующиеся при осаждении Ge на подложки Si, содержащие ямки в форме перевернутых пирамид с квадратным основанием. Обнаружено, что на стенках ямок в течение ~ 10 – 11 с образуются устойчивые H-образные конфигурации из атомных димеров Ge. Обсуждается роль H-образных конфигураций в формировании морфологии последующих атомных слоев при осаждении Ge в условиях гетероэпитаксиального роста.

Литература

1. Frenkel D., Smit B. Understanding molecular simulation. – New-York: 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. (c). – 2017. – Vol. 14. – P. 1700200(3).

* 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»).

ФИЛЬТРАЦИЯ RAW ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ МОДУЛЕЙ

В.А. Сурин

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия
sva13t@yandex.ru

RAW IMAGE FILTERING BASED ON GENERALIZED METHOD OF LEAST MODULES

V.A. Surin

South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia

Повышение качества цифрового изображения – одна из важнейших задач цифровой обработки изображений. Она решается в основном с помощью различных алгоритмов фильтрации изображений. Наибольший вклад в ухудшение изображения вносят шумы, которые образуются в процессе оцифровки изображения, поэтому первостепенной задачей становится шумоподавление.

подавляющее большинство методов фильтрации применяется для монохромных или полноцветных RGB изображений, но исходный сигнал получаемый с цифровой фотоматрицы (RAW) существенно отличается по структуре от привычных цифровых изображений. Наиболее распространенные фотоматрицы имеют байеровскую, реже другую, схему, использующую цветные фильтры перед фоточувствительными элементами. В результате получается мозаика из пикселей, которые кодируют только один цвет и на кодирование отводится от 10–16 бит в зависимости от фотоматрицы, что дает больше информации в сравнении со стандартным изображением, где каждый цвет кодируется 8-битами. Для преобразования в привычные цифровые изображения применяется алгоритм демозаики [1], однако он же вносит дополнительные искажения в структуру шума в изображении, усложняя структуру шума и меняя плотность распределения.

Поэтому была предпринята попытка подавления шума в исходном RAW изображении и последующее преобразование его в стандартное цветное RGB изображение. Так как в исходном RAW изображении пиксели кодируют только один цвет, то проводить обработку их всех вместе неверно. Необходимо разложить изображение на три отдельные матрицы, каждая из которых будет отвечать за свой цвет, после чего проводить фильтрацию каждой из них отдельно.

Для подавления шума использовался фильтр на основе обобщенного метода наименьших модулей (ОМНМ) [2]. Данный фильтр показал себя достаточно эффективным инструментом для фильтрации цифровых контрастных изображений [3]. В качестве функции сглаживания используется функция:

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

где $\alpha > 0$ и $\beta > 0$ – параметры, подбираемые на основе характеристик изображения и перепада, таких как: σ – среднеквадратическое 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).

Результат сглаживания будет зависеть от правильности выбора параметров $\alpha = \alpha(\sigma, h, A)$ и $\beta = \beta(\sigma, h, A)$. В [4] был представлен алгоритм, позволивший подобрать функции для 14 битных RAW изображений с цифровой камеры Canon 80D. Стоит учитывать, что функции и коэффициенты в них могут отличаться для различных моделей в виду использования производителями различных технологий производства цифровых фотоматриц.

В результате фильтрации RAW изображения, устранения цветовой составляющей шума [1] и конвертации в стандартное RGB изображение удалось достичь результат лучше, чем при фильтрации этого же изображения преобразованного сразу в стандартное RGB изображение.

Литература

1. Сурин В.А. Об обработке зашумленных контрастных изображений // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2021. – Т. 13. – С. 14–21.
2. Surin V.A., Tyrsin A.N. Nonlinear 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.
3. Сурин В.А., Тырсин А.Н. Математическая модель фильтрации на основе обобщенного метода наименьших модулей как инструментальной обработки и анализа контрастных изображений // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Тринадцатой Международной конференции. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. – С. 55–56.
4. Сурин В.А., Тырсин А.Н. Модель нелинейного фильтра для цифровой обработки контрастных изображений // Авометрия. – 2018. – Т. 54, № 2. – С. 54–62.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УСКД-АКВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ БЕСПИЛОТНЫМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ АППАРАТАМИ БАСПИ-1

Е.В. Ланин, В.А. Казанин, Д.А. Пидотова, А.В. Бадьин, К.В. Дорожжкин

Томский государственный университет, Томск, Россия
zenkalanin@gmail.com

APPLICATION OF THE USCD-AQUA INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING WATER AREAS BY UNMANNED AUTOMATED BASPI-1 DEVICES

Ye.V. Lanin, V.A. Kazanin, D.A. Pidotova, A.V. Badyin, K.V. Dorozhkin

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В последнее время научно-технический прогресс значительно продвинулся вперед, что позволило создавать компактные информационно-измерительные системы. Благодаря минимальным весовым характеристикам устройств появилась возможность размещать их на беспилотных автоматизированных аппаратах (БАС). В нашем случае, информационно-измерительная система располагается на борту беспилотного плавательного или водного аппарата (БПВА). Информационно-измерительные системы находят широкий спектр применения в области водного пространства, а именно, в мониторинге экологических параметров и популяции представителей флоры и фауны водных и прибрежных территорий. В настоящий момент важна не столько точность измерений, а их количество и динамика изменения в реальном времени на больших площадях, что упрощает процесс прогнозирования экологической обстановки на пригодность обитания и жизнедеятельность живых организмов.

Так же информационно-измерительная система на базе БПВА важна для обеспечения безопасности исследователя в опасных или труднодоступных районах, за счет автоматизированного процесса измерений, который исключает непосредственное участие человека. Автоматизация заключается в выполнении алгоритма действий БПВА, загруженных в плавательный контроллер. Алгоритм действий или плавательная миссия включает в себя: значение крейсерской скорости и координат, которых необходимо достичь, время ожидания, после достижения заданных позиций, и набор сигналов для УСКД-АКВА о начале и окончании процесса измерений.

Информационно-измерительная система УСКД-АКВА состоит из передающего и принимающего устройств. Принимающее и передающее устройства отличаются в том, что на принимающей стороне оператор может наблюдать результаты измерений в реальном времени или производить запись на SD-карту, а передающая часть интегрирована с БПВА БАСПИ-1. Оба устройства с технической части похожи и делятся на 4 узла: систематизацию и хранение данных, передачу и прием информации, измерительную составляющую

и отдельный источник питания. Систематизация и хранение данных состоит из микроконтроллера Atmega328 на платформе Arduino Nano, обеспечивающий обработку информации, модуля-SD для хранения результатов измерений и часов реального времени DS3231, систематизирующих данные по времени [1–4]. За передачу и прием информации отвечают приемопередающие модули NRF24L01+ с максимальной дальностью до 800 метров и работающих на частотах от 2,4 до 2,525 ГГц. Один NRF24L01+ работает как приемник, другой – передатчик. Измерительная часть включает в себя датчики температуры, меры кислотности (рН), электропроводности (ЕС), мутности и насыщение воды кислородом (DO). Также отдельный источник питания реализован в виде модуля повышающего напряжения MT3608 до 5 В и двух литий-ионных аккумуляторов форм-фактора 18650 с емкостью 2500 мАч, параллельно подключенных с номинальным напряжением 3,6 В.

Интегрирование УСКД с БАСПИ-1 заключается в том, что при достижении плавательным средством указанных координат происходит генерация высокого уровня напряжения на логических выводах плавательного контроллера длительностью 5 секунд, что символизирует о начале проведения измерений для УСКД-АКВА. Повторный сигнал означает прекращение измерений и отправление данных на принимающее устройство оператора.

В результате разработанная система позволяет оперативно собирать данные с опасных или труднодоступных мест без непосредственного участия исследователя, а возможность дистанционного мониторинга в реальном времени – принимать своевременные решения для ликвидации непредвиденных ситуаций.

Литература

1. Бадьин А.В., Бердюгин А.И., Выговский В.Ю. Применение микроконтроллеров для автоматизированного сбора микроклиматических параметров лабораторий // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения.* – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 84–86.

2. Южаков М.С., Бадьин А.В., Пидотова Д.А. Разработка устройства сбора и передачи данных «УСКД-365П» // Актуальные проблемы радиофизики: VIII Международная научно-практическая конференция: сборник трудов конференции. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. – С. 173–177
3. Южаков М.С., Пидотова Д.А., Бадьин А.В. Разработка устройства сбора климатических данных «УСКД-365» // Труды Шестнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов / под ред. В.В. Демина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2019. – С. 86–88.
4. Южаков М.С., Бадьин А.В., Пидотова Д.А., Фильченко Д.И. Разработка и применение «УСКД-365П» для создания системы сбора, передачи и хранения климатических данных // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2019. – Т. 1, № 1-1. – С. 111–114.

О СТРУКТУРЕ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛИСТА – ВЫПУСКНИКА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА

К.С. Катаев, С.Г. Катаев, И.В. Каменская

Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия
sgkataev2010@yandex.ru

ON THE STRUCTURE OF THE MODEL OF A SPECIALIST – A GRADUATE OF A PEDAGOGICAL UNIVERSITY

K.S. Kataev, S.G. Kataev, I.V. Kamenskaya

Tomsk state pedagogical university, Tomsk, Russia

Оценивание прогресса студентов и прогнозирование дальнейшей их карьеры является первостепенной для любого образовательного учреждения. Для педагогического вуза этот вопрос представляется особо важным, учитывая кадровый голод в российских школах и профессионально-технических училищах. Важную роль при выборе выпускником дальнейшего пути играет образовательный процесс, что приводит к проблеме оценивания качества этого процесса.

Вариантом решения этой проблемы является создания в вузе системы обратной связи, позволяющей в режиме мониторинга оценивать динамику уровней сформированности компетенций студентов (УСК) и выявлять степень влияния на УСК различных факторов.

Целью работы является разработка и реализация мультифакторной компетентностной модели специалиста – выпускника педагогического вуза, которая может выступать в качестве основы при создании системы мониторинга качества образовательного процесса. В модели учитываются психологические и социально-демографические факторы, а также принимаемые студентами решения в области профессиональной карьеры. Описываемая модель базируется на факте, что будущий специалист должен обладать не только высоким уровнем сформированности компетенций (УСК), но и широким спектром личностных качеств. В качестве базы такой системы предлагается использовать комплексную модель специалиста, которая позволяет количественно оценивать уровни сформированности компетенций, а также учитывать не менее важные для специалиста личностные свойства.

Предлагаемый подход к построению модели специалиста основывается на идеях, используемых в двух, ранее разработанных моделях: модели принятия решения индивидом [1] и компетентностной модели «специалиста» [2]. Индивид описывается набором факторов, разбитых для удобства на блоки. Таковыми являются: социально-демографические факторы, факторы, описывающие психологическую природу человека и факторы, определяющие профессиональные компетенции. Также учитываются ценностные и мотивационные факторы. Отдельно рассматривается блок решений индивида, состоящий из набора принимаемых (или предполагаемых) решений в сфере будущего трудоустройства.

Каждый фактор задается в своей шкале значений. Шкалы могут быть количественными или порядковыми, количество возможных значений каждого фактора определяется исследователем, но в любом случае они должны быть одинаковым образом ранжированы. Конкретные значения факторов определяются из обработки результатов опроса респондентов.

Такой подход к организации данных является гибким, поскольку предоставляет возможность обрабатывать каждый блок как по отдельности, так и совместно, выбирать для анализа факторы из разных блоков, вводить при необходимости новые блоки или пространства факторов, ориентированные на (возможно новую) цель исследования, без изменения содержания остальных.

Апробация предложенной модели осуществлена на данных, полученных в результате двух опросов студентов всех курсов ФМФ ТГПУ, проведенных в 2020 и 2021 годах.

Произведенный анализ полученных данных с использованием методов многомерной статистики позволил получить разнообразные связи между учитываемыми факторами. В частности, обнаружена закономерность между значениями по психологическим шкалам, уровнем сформированности компетенций и ориентацией студентов в выборе будущей профессии.

Литература

1. *Kataev K.S.* The model of forecast of problem solving // Proceedings of The 8th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. – 2004. – Vol. 3. – P. 236–238.
2. *Алексеева Е.О., Катаев С.Г.* Компетентностная модель выпускника физической специальности педагогического вуза // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2014. – № 11 (152) – С. 178–181.

ЭТАПЫ ОСВОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДАЧИ СТУДЕНТАМИ–АРХИТЕКТОРАМИ 2 КУРСА

А.Л. Титов

ФБГОУ ВО «Уральский государственный архитектурно-художественный университет имени Н.С. Алферова»,
Екатеринбург, Россия
fosberi@mail.ru

STAGES OF MASTERING COMPUTER SUBMISSION ARCHITECT STUDENTS 2 YEARS

A.L. Titov

Ural State University of Architecture and Art, Ekaterinburg, Russia

В современных условиях, образование требует обучающихся расширенный спектр знаний, повышены требования и в области учебного архитектурного проектирования. Такая важная творческая специальность как «Архитектура» требует от студента, в равной степени, владения качественной ручной и компьютерной подачей архитектурных проектов. В определенный момент происходит переход от ручной подачи архитектурных объектов к компьютерной, это, прежде всего, объемное моделирование (3d-графика) и чертежи, выполненные при помощи систем автоматизированного проектирования и черчения. Такой переход, является сложной задачей для студентов, которые одновременно осваивают основы архитектурного проектирования и профессиональные навыки работы на компьютере. Для учебного процесса, важно, чтобы этап перехода, с ручной графики на компьютерную, прошел без потерь времени, а главное не отразился на качестве архитектурных проектов.

На первом и втором курсе студент осваивает основы архитектурного проектирования, прежде всего черчение и макетирование. При этом, развитие современных компьютерных технологий, заставляет студента уже на втором курсе университета, осваивать подачу проектов на компьютере, это обеспечивает такие программы как: 3ds Max, Revit, AutoCAD, ArchiCAD. Вышеописанный процесс показывает сложность и разносторонность задач, стоящих сегодня перед студентами архитектурного вуза. Здесь важно еще то, что часть освоенных программ содержит информационное моделирование зданий – BIM-технологии, которая позволяет осуществлять «комплексный сбор и единую обработку архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и другой документации в процессе проектирования» [1].

Можно выделить три основных этапа перехода с ручной подачи на компьютерную подачу проектов:

- ручная подача проектов: вычерчивание чертежей и фасадов тушью в ручную, построение перспективы вручную и отмывка архитектурного объекта акварелью и тушью,
- комбинированная подача проектов: коллаж из элементов проекта, часть из которых может быть выполнена на компьютере, допустим чертежи, наклеенные на планшет с отмытой или покрашенной основой с перспективным изображением и элементами среды выполненными вручную,
- компьютерная подача проектов: весь состав архитектурного проекта, чертеж, перспективы, элементы среды и оформление выполняются на компьютере, и выводятся в готовом виде на печать принтером.

Переход на компьютерную графику, для подачи архитектурных проектов, это достаточно сложный учебный период для студента, ему приходится осваивать как сами основы архитектурного проектирования, так и новые компьютерные программы для проектирования и подачи курсовых работ. В этот период, происходит постепенный переход от отмывки архитектурных форм к компьютерной подаче, без использования которой, в дальнейшем, невозможно обучение на архитектурной специальности, так как на следующем курсе бакалавриата, студент должен делать подачу всех своих архитектурных проектов только на компьютере, при сохранении эскизов и клаузур в ручной подаче, конечно же.

В результате, надо отметить, что переход на компьютерное проектирование содержит ряд этапов, в которых студент выполняет вначале ручную, затем комбинированную и полностью компьютерную подачу архитектурных проектов. Большое значение здесь имеет грамотное распределение времени и усилий, между ручной и компьютерной графикой, скорость освоения компьютерных программ автоматизированного проектирования, а так же, качество знаний и умений, полученных студентом в результате обучения в целом. Разделение проектирования на этапы и своевременное начало использования 3d-визуализации на 2-м курсе архитектурной специальности, а точнее, в третьем и четвертом семестре, позволяет постепенно подготовить

студента к будущему переходу на компьютерную подачу всех архитектурных проектов на 3 курсе университета.

Литература

1. *Wikipedia*. BIM [Электронный ресурс]: свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM> (дата обращения: 01.08.2022).

ВЕКТОРНЫЙ РАНДОМИЗИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ*

К.К. Сабельфельд^{1,2}, А.Е. Киреева¹

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

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

karl@osmf.sccc.ru, kireeva@ssd.sccc.ru

PARALLEL IMPLEMENTATIONS OF MONTE CARLO ALGORITHM FOR SOLVING LARGE SYSTEMS OF LINEAR EQUATIONS

К.К. Sabelfeld¹, А.Е. Kireeva²

¹Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

При решении многих фундаментальных и прикладных задач возникает необходимость в вычислении решения систем линейных алгебраических уравнений большой размерности. В [1] предложен векторный рандомизированный алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Рассмотрим систему уравнений $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}$. Если спектральный радиус матрицы \mathbf{A} меньше единицы, то решение системы может быть представлено в виде ряда Неймана $\mathbf{x} = \sum \mathbf{A}^k \mathbf{b}$. Пусть вектор \mathbf{b} является стохастическим, и матрица \mathbf{A} является стохастической по столбцам. Стохастический вектор – это вектор с неотрицательными элементами, сумма которых равна 1. Стохастическая по столбцам матрица – это матрица, все столбцы которой являются стохастическими векторами. С помощью рандомизированного алгоритма матричные итерации $\mathbf{A}^k \mathbf{b}$ вычисляются следующим образом. Произведение $\mathbf{A}\mathbf{b}$ вычисляется как математическое ожидание случайных столбцов \mathbf{A}_j , выбираемых в соответствии с распределением вероятности \mathbf{b} : $\mathbf{A}\mathbf{b} = \mathbf{E}\zeta_1 = E\{\mathbf{A}_j | \mathbf{p}_1 = \mathbf{b}\}$. Произведение $\mathbf{A}^2 \mathbf{b}$ вычисляется как двойное математическое ожидание: $\mathbf{A}^2 \mathbf{b} = \mathbf{A}\mathbf{E}\zeta_2 = \mathbf{E}\mathbf{E}\{\mathbf{A}_j | \mathbf{p}_2 = \mathbf{A}_i; \mathbf{p}_1 = \mathbf{b}\}$, где случайный столбец \mathbf{A}_j выбирается за два этапа: сначала в соответствии с распределением вероятности \mathbf{b} выбирается столбец \mathbf{A}_i , затем в соответствии с распределением выбранного столбца \mathbf{A}_i выбирается случайный столбец \mathbf{A}_j . Произведение $\mathbf{A}^k \mathbf{b}$ выбирается за k этапов: $\mathbf{A}^k \mathbf{b} = \mathbf{A}\mathbf{E}\zeta_{k-1} = \mathbf{E}\dots\mathbf{E}\{\mathbf{A}_m | \mathbf{p}_m = \mathbf{A}_{k-1}; \dots; \mathbf{p}_1 = \mathbf{b}\}$, где столбцы выбираются последовательно в соответствии с распределением вероятности столбца, выбранного на предыдущем этапе, начиная с вектора \mathbf{b} . Математическое ожидание случайной величины ζ_k вычисляется с помощью метода Монте-Карло, где на каждой траектории делаются вклады во все k итераций $\mathbf{A}^k \mathbf{b}$, $k = 1, \dots, K$. Решение СЛАУ вычисляется как сумма полученных итераций $\mathbf{x} = \sum \mathbf{A}^k \mathbf{b}$.

Для приведения произвольной положительной матрицы \mathbf{A} к стохастической по столбцам матрице \mathbf{S} используется представление $\mathbf{S} = (1/\lambda) \cdot \mathbf{Z}\mathbf{A}\mathbf{Z}^{-1}$, где λ – максимальное собственное число матрицы \mathbf{A}^T , \mathbf{Z} – диагональная матрица, составленная из элементов собственного вектора \mathbf{z} , соответствующего собственному значению λ . Для вычисления максимального собственного числа λ используется степенной метод.

В настоящей работе алгоритм, предложенный в [1], применяется к плотным матрицам большого размера. Рассматривается случай, когда матрица не может быть полностью сохранена в оперативную память одного вычислительного узла. Реализуется параллельная версия рандомизированного алгоритма решения СЛАУ с помощью стандарта MPI. Применяется стандартный способ распараллеливания методов Монте-Карло: независимые траектории, вычисляющие случайные величины ζ_k , распределяются между доступными MPI-процессами. Матрица \mathbf{A} делится на части по столбцам таким образом, чтобы каждая часть матрицы помещалась в оперативную память одного узла. Для каждого столбца матрицы \mathbf{A} генерируется массив случайных индексов, выбранных в соответствии с распределением вероятности этого столбца. Рассматривается два способа хранения матрицы \mathbf{A} : 1) вся матрица хранится на диске в каждом узле и обрабатывается по частям, последовательно загружаемым в оперативную память, 2) матрица хранится по частям в оперативной памяти доступных вычислительных узлов. В первом случае каждый MPI-процесс генерирует свой массив случайных индексов столбцов для всей матрицы и вычисляет свою долю траекторий. В процессе вычислений, когда индексы для какого-либо столбца заканчиваются, этот столбец загружается в оперативную память и для него генерируются новые индексы. Во втором случае каждый MPI-процесс генерирует n (где n – число доступных MPI-процессов) массивов случайных индексов столбцов своей части матрицы и отправляет их остальным MPI-процессам. Затем

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 19-11-00019.

он принимает от остальных *m*₁-процессов массивы индексов для остальных частей матрицы. Таким образом, у каждого *m*₁-процесса собирается массив со случайными значениями индексов для всех столбцов матрицы. В процессе вычислений, когда индексы для какого-либо столбца заканчиваются, отправляется запрос *m*₁-процессу, у которого хранится этот столбец. *m*₁-процесс по запросу генерирует и отправляет массив индексов для нужного столбца. Выполнено сравнение двух приведённых алгоритмов хранения матрицы для размера 10^4 и 10^5 . Второй алгоритм позволяет получить решение системы уравнений за значительно меньшее время.

Литература

1. *Sabelfeld K.K.* Vector Monte Carlo Stochastic Matrix-based Algorithms for Large Linear Systems // Monte Carlo Methods and Applications. – 2016. – Vol. 22, № 3. – P. 259–264.

ВІМ І НВІМ. СОПОСТАВЛЕННЯ ДВУХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНФОРМАЦІОННОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Г.Б. Захарова

Уральський архітектурно-художественний університет, Єкатеринбург, Росія
zgb555@gmail.com

BIM AND HBIM. COMPARISON OF TWO INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES

G.B. Zakharova

Ural State University of Architecture and Art, Ekaterinburg, Russia

Данная работа раскрывает вопрос о возможностях, сложностях и перспективах применения информационного моделирования зданий BIM (Building Information Modeling) к объектам архитектурного наследия. На основе анализа ряда источников показаны особенности HBIM (Historic BIM) по сравнению с традиционным BIM. Это сравнение позволит выявить проблемы при моделировании исторических объектов и привлечь внимание к их решению.

Технологии информационного моделирования неуклонно входят в практику архитектурно-строительной деятельности. Их основой является кооперация всех заинтересованных сторон на разных этапах жизненного цикла строительного объекта для формирования и поддержания в актуальном состоянии всей информации об объекте. Для информационного моделирования исторических зданий, являющихся объектами культурного наследия, применяется понятие HBIM. Термин появился в 2007 г., постепенный рост исследований отмечается с 2011 г., особенно в Италии, в обзоре [1] представлены соответствующие данные. В последние несколько лет появилось большое количество публикаций по данной тематике. Отметим здесь книгу [2], выпущенную организацией Historic England с описанием технологии и примерами моделирования объектов наследия, которые демонстрируют разнообразие объектов, подходов, целей HBIM.

В 2019 г. в Градостроительном кодексе РФ зафиксировано понятие информационной модели объекта капитального строительства как «совокупности взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте, формируемых в электронном виде на этапах проведения инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса». С точки зрения «совокупности сведений» проекты наследия наряду с архитектурной предполагают наличие исторической документации. Относительно этапов жизненного цикла отметим, что HBIM имеет дело с уже построенными объектами, и формирование модели происходит по более сложной технологии, чем для нового объекта в процессе его проектирования. Как правило, это фотограмметрия и лазерное сканирование, построение 3D-модели в условиях того, что библиотеки и инструменты на существующих платформах BIM настроены на проектирование и строительство новых зданий со стандартизированными объектами. Параметрические объекты для исторических зданий являются уникальными и имеют сложные формы, получаемые из облаков точек.

В современных городах растет число зданий наследия, нуждающихся в реставрации. Ремонт, восстановление и другие мероприятия по сохранению существующих зданий составляют высокий процент в общей строительной отрасли. Разнообразие объектов и их состояния определяет разнообразие целей, которые может сопровождать HBIM: мониторинг состояния, профилактическое обслуживание, консервация, адаптивное повторное использование, исследовательская, экскурсионно-просветительская деятельность и др. Ещё ряд применений HBIM приведен в статье [3].

В проектах наследия участвуют многие заинтересованные стороны, в том числе, не технические специалисты. В проект могут входить археолог, архивариус, консультант по планированию, архитектор, инженер-строитель, реставратор. Часто они работают по отдельности, создавая разрозненные данные, иногда дублируя работу. Рабочий процесс в проектах исторической архитектуры не всегда формализован и четко

определен, имеет место распыление информации, использование устаревших инструментов. И здесь решением проблем является технология HBIM. Примером такой систематизации является исследование [4], которое предлагает платформу и протокол для управления вмешательствами в здания наследия с использованием информационного моделирования.

В заключение отметим, что адаптация технологии BIM к работе с объектами наследия является перспективным направлением, повышающим ее эффективность.

Литература

1. *Ewart I., Zuecco V.* Heritage Building Information Modelling (HBIM): a review of published case studies // *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering* / edited by Mutis I., Hartmann T. – Cham: Springer. – P. 35–41.
2. *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model* / edited by Antonopoulou S., Bryan P. – Swindon: Historic England, 2017. – 78 p.
3. *Захарова Г.Б.* Информационное моделирование исторических зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С. 83–88.
4. *Jordan-Palomar I., Tzortzopoulos P., Garcia-Valldecabres J., Pellicer E.* Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM) // *Sustainability*. – 2018. – Vol. 10, № 4. – P. 908. – DOI: 10.3390/su10040908

О РЕГУЛИРОВАНИИ РИСКОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ АРКТИЧЕСКИМ ГОРОДОМ»

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

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский архитектурно-художественный университет им. Н.С. Алфёрова, Екатеринбург, Россия

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

A RISKS REGULATION OF AI APPLICATION IN "SMART ARCTIC CITY" PROJECTS

S.V. Kruglikov^{1, 3}, G.B. Zakhrova^{1, 2}

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Ural State University of Architecture and Art, Ekaterinburg, Russia

³Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Общезиоровая повестка, определенная 17 Целями ООН в области устойчивого развития [1], включает положения, являющиеся внутренне противоречивыми и, следовательно, имеющими риск для реализации при современном уровне развития технологий. В частности, это касается целей «11: Сделать города и населенные пункты открытыми, безопасными, жизнестойкими, устойчивыми» и «13: Принять срочные меры для борьбы с изменением климата и его последствиями». Поиск согласования ведущие страны ведут на путях развития сквозных технологий. Материалы ежегодно публикуемого Глобального инновационного индекса [2], отслеживающего эффективность инновационной экосистемы 132 стран и передовые глобальные тенденции в области инноваций, показывают нарастание исследовательской активности, несмотря на последствия пандемии. Наряду с устойчивым лидерством США (3 позиция), показательны результаты систематической политики властей КНР (12 позиция). Особенно в сравнении с результатами России (45 позиция). Необходимо отметить, что согласно 14-му пятилетнему плану социально-экономического развития КНР и долгосрочным целям до 2035 года [3], список стратегически важных направлений начинается с ИТ нового поколения, включая системы искусственного интеллекта (ИИ).

Аналогично документы стратегического планирования, принятые в РФ, определяют в качестве перспективных целей, в частности, обеспечение ускоренного развития ИИ в РФ, проведение научных исследований в области ИИ. Задачи, обеспечивающие реализацию целей «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.» [4], включают обеспечение роста благосостояния и качества жизни населения, обеспечение национальной безопасности и правопорядка, достижение устойчивой конкурентоспособности российской экономики, в том числе, лидирующих позиций в области ИИ. Обращает внимание отсутствие в документе увязки с экологической повесткой.

Далее согласно Национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации», в том числе, федеральному проекту «Искусственный интеллект», принято рассматривать ИИ как комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма), получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как

минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека. Отметим, что в состав комплекса технологических решений, включающего информационно-коммуникационную инфраструктуру и программное обеспечение (в том числе, в котором используются методы машинного обучения), не включены персонал и бизнес процессы.

Данная работа продолжает исследование [5] и моделирует упомянутые выше особенности реализации проектов, основанных на использовании ИИ, в частности, для интеллектуальной поддержки принятия решений (прикладной бизнес-процесс «управление»), что актуально при реализации проектов типа «умный арктический город» для решения проблем развития Арктики. В качестве варианта эффективного технологического решения при формировании процессов управления «умным арктическим городом» с применением ИИ предлагается методика по разработке альтернативных вариантов (сценариев) реализации алгоритмов управления: инерционного, технологического, инновационного, основанного на сквозных технологиях, включая применение ИИ. Сравнение сценариев реализовано на основе показателей, аналогичных совокупной стоимости владения. Приведен развернутый анализ процедур регулирования рисков и расчета гарантий на случай неблагоприятном развитии ситуации. Обязательной компонентой методики управления является процесс контроля и анализ соответствия полученных результатов заявленным целевым показателям. Методика применена на примере г.Салехард, ЯНАО. Опробование показало ее перспективность.

Литература

1. *Цели* в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения 22.07.2022)
2. *Global Innovation Index 2021. Executive Summary*. – Geneva: World Intellectual Property Organization, 2021. – 28 p.
3. *Патенты* и научная грамотность: Китай идет к технологическому лидерству [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/62d64f2d9a794754fcfa88ec> (дата обращения: 22.07.2022).
4. *Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года* [Электронный ресурс]. – URL: https://base.garant.ru/72838946/#block_1000 (дата обращения: 22.07.2022).
5. *Kruglikov S.V., Zakharova G.B. Multi-Agent Analysis of Scenarios for “Arctic Smart City” // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1680. – P. 012028.*

NETWORK PARADIGM OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: REMOTE TERRITORIES*

M. Korniaikov¹, A. Trufanov¹, A. Tikhomirov², O. Berestneva³, G. Jafari^{1,4}, M. Kuklina¹, E. Altangerel⁵, Z. Dashdorj⁵

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Inha University, Incheon, Republic of Korea

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁴Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁵Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia
troufan@gmail.com

Some Russian Arctic, Siberian (including bordering to Mongolia), and Far Eastern regions contain sparsely populated terrains separated from key transportation arteries. Concomitant remoteness accompanies enormous natural wealth of such territories in parallel with modest socio-economic level. Just in line to achieve the sustainable development goals SDGs claimed by the United Nations 2030 Agenda it is of value to elaborate a new cut-edge paradigm and provide a keen vision of the problem landscape. Researches noted the complexity of the problem [1] due to tangled interconnectivity of numerous actors within socio-economic and environment components of these territory systems. The platform of Network Science was found extremely productive in diverse domains and their crossovers. Thus the paper [2] proposed to apply general network analysis to assess the set of 17 SDGs and to unveil underlined interconnection between them for further prospective design of decision support system focused on sustainability-driven polices of national scales. In this concern, it deems salient to perform interdisciplinary network study that reveals the problems of sustainability development of concrete remote areas in their socio-economic and environmental aspects. Network science scope we apply to explore the development prospects of the area in the context of its needs and intentions of regional requirements and global needs. It is of value that this study based on data collected during field works, includes network ontology design and development of a network model that covers multiple interactions of diverse nature actors. To design a basic ontology for description of territory complex as socio-economic and ecological system with aim to assess its sustainability, a scope of enhanced spaced combined stem networks (ESCSN) [3] has been utilized and modernized. This network scope proposes the hierarchy of ontology classes, so that regular nodes are merged just to form stem classes [4]. Each stem represents living, technological, or natural non-living entity. Further, stem classes are pooled into bed classes, bed classes are attributed to three so-called subspace classes (social, infrastructural and natural). It is pivotal that all the instances and classes are spaced according to their georeferences.

* The reported study was partially funded by RFBR and MECSS, project No. 20-57-44002.

Prior to this study regular network consideration of sustainability pay attention to SDGs in semantic aspects in general [5] or measuring single network properties in separate component of complex multi-natural system. The novelty of the current work comprises and integrate network metrics just to assess sustainability of communities in ESCSN model of a territory and global sustainability. These comprehensive metrics are based on ordinary measures of robustness and efficiency [6] but in compliance with complex structure of enhanced spaced combined stem networks. The findings of this study include the network paradigm with concomitant ontologies, models and metrics to assess sustainability in context of socio-economic and environment processes in territory systems. The results might be useful for constructing decision support systems to provide local and regional policymakers for the assessment of territory development programs.

Literature

1. *Wu J., Wu T.* Sustainability indicators and indices: an overview // Handbook of Sustainability Management / edited by Madu C.N., Kuei C.-H. – Singapore: World Scientific Publishing Co, 2012. – P. 65–86. – DOI: 10.1142/9789814354820_0004
2. *Bellantuono L, Monaco A, Amoroso N [et al].* Sustainable development goals: conceptualization, communication and achievement synergies in a complex network framework // Appl. Netw. Sci. – 2022. – Vol. 7 (1). – DOI: 10.1007/s41109-022-00455-1
3. *Berestneva O., Tikhomirov A., Trufanov A. [et al].* Development Challenges of Remote Rural Terrians: Network Ontology // System Analysis in Engineering and Control. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol 442. – P. 367–381
4. *Berestneva O.G., Lyzin I.A., Tikhomirov A.A.[et al].* Network concept of a metadisciplinary platform for constructing multiple real and virtual worlds // Ontology of Designing. – 2022. – Vol. 12, № 2 (44). – P. 218-230. – DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-218-230.
5. *Fariña García M.C., De Nicolás V.L., Yagüe Blanco J.L., Fernández J.L.* Semantic network analysis of sustainable development goals to quantitatively measure their interactions // Environmental Development. – 2020. – P. 100589. – DOI: 10.1016/j.envdev.2020.100589
6. *Latora V., Marchiori M.* Efficient Behavior of Small-World Networks // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 87 (19). – 198701. – DOI: 10.1103/physrevlett.87.198701

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО КИРПИЧНО-МОНОЛИТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А.Б. Шамардин, А.Д. Шамардин

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

THE SOFTWARE FOR CALCULATING MATERIAL COCTS FOR THE COSTRUCTION OF BRIK–MONOLITHIC RESIDENTIAL BILDINGS

A.B. Shamardin, A.D. Shamardin

The Construction-company Dalpiterstoy LLC, Saint-Peterburg, RF

С июля 2019 года действует Федеральный закон от 25.12.2018 № 478, когда застройщики для строительства жилья используют только собственные или заемные средства, а средства дольщиков хранятся на эскроу-счетах [1]. При недостатке собственных средств застройщику приходится обращаться в банки за получением кредита. 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 выдается 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.

Поэтому застройщику необходимо сократить время на детальные предпроектные проработки на стадии идеи, маркетингового исследования рынка жилья и создания бизнес-модели проекта. В этом случае необходимо в максимально короткий срок провести анализ возможностей организации для принятия решения о разработке инвестиционного проекта. Таким образом, застройщик должен иметь комплекс программ, который в короткий срок позволит провести многовариантные расчеты и принять экономически-обоснованные проектные решения, позволяющие снизить себестоимость и сроки строительства.

В общем случае снижение затрат на строительство достигается:

– принятием экономически обоснованных объемно-планировочных решений, т.е. продаваемая коммерческая площадь составляет максимально-допустимый процент от общей площади здания. Так в Санкт-Петербурге в 2021 г. средневзвешенное значение продаваемой площади для 10–17-этажных зданий составляет 65–70% 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 от уполномоченных банков.

Известно, что общестроительные работы составляют ориентировочно 55–65% от сметной стоимости строительно-монтажных работ, поэтому принятие экономически обоснованных объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений играют решающую роль в стоимости строительства.

Для определения влияния объемно-планировочных и конструктивных решений на себестоимость строительства жилых зданий разработан комплекс программных средств на языке C++, который позволяет выполнить сквозной расчет, который позволяет в первом приближении определить общую площадь квартир, количество основных материалов и изделий на стадии эскизных проработок. Для проведения расчетов достаточно иметь контур секций и конфигурации лестнично-лифтовых узлов здания в одну линию и уже на этом этапе заниматься оптимизацией проектных решений.

С применением разработанного комплекса программ проведен математический эксперимент, в котором назначались различные толщины плит перекрытий и стен, различные марки бетона и арматуры, различные варианты ограждающих конструкций здания. Определялась масса арматуры в зависимости от размеров пролетов при различных вариантах стоимости бетона и арматуры. Кроме того, определялись теплотери здания при различных вариантах наружных стен и толщинах наружного утепления.

В эксперименте рассматривались секции широтной и меридиональной ориентации. По требованиям СНиП количество квартир в секциях ограничивается требованиями к их инсоляции. Расчеты показали, что в секциях широтной ориентации зданий 10–17 этажей можно добиться размещения квартир площадью в 70% от площади секции, вычисленной по внутреннему контуру, а расход арматуры составляет около 34 кг на один метр площади квартир. В секциях меридиональной ориентации можно разместить квартиры площадью примерно в 75% от площади секции, а расход рабочей арматуры может составлять 29 кг на один метр площади квартир.

Разработанный программный комплекс используется в ООО «Строительная компания «Дальпитерстрой». Комплекс применяется на стадии эскизных проработок и стадии «Проект». Многовариантные расчеты дают возможность принять экономически обоснованные проектные решения и снизить затраты на строительно-монтажные работы ориентировочно на 12–14%.

Литература

1. Шамардин А.Б., Шамардин А.Д. Комплекс программ в C++ для экспресс разработки и анализа объемно-планировочных решений жилых зданий для создания BIM-моделей в условиях проектного финансирования // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2020. – С. 310–316.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СУБЪЕКТИВНОЙ И ОБЪЕКТИВНОЙ СЛОЖНОСТИ МЕДИАТЕКСТА

Т.Г. Евтушенко, Е.С. Клочкова, М.В. Дробчик

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
evtushenko_tg@spbstu.ru, klochkova_es@spbstu.ru, mdrobchik171@gmail.com

DETERMINING PARAMETER WEIGHTS FOR EVALUATING RUSSIAN MEDIA TEXT COMPLEXITY

T.G. Evtushenko, E.S. Klochkova, M.V. Drobchik

Peter the Great Polytechnic St. Petersburg University, Russia

Развитие информационных технологий внесло заметные коррективы в лингвистические исследования в области машинного перевода, обработки и анализа лингвистических данных и т.д. [1]. Одной из интересных междисциплинарных задач является анализ сложности (читабельности) текстов разных жанров с целью создания электронных сервисов для автоматической оценки сложности текста на разных языках [2–4]. Результаты работы с интернет сервисами, такими как <http://ru.readability.io>, <https://textometr.ru> и др., показывают, что предсказательная оценка не всегда соответствует действительности, поскольку тексты с низкой автоматической оценкой читабельности, предложенной сервисом, могут легко восприниматься читателем, и наоборот. Неточность предсказательной автоматической оценки может быть обусловлена недостаточной разработкой следующих вопросов: 1) целесообразность применения общих индексов читабельности, разработанных для анализа сложности английского текста, к новостному тексту на русском языке, 2) набор и веса параметров, определяющие субъективную оценку текста.

В докладе представлены результаты анализа распределения весовых коэффициентов ряда лингвистических признаков (объективной сложности) с учетом их корреляции с понятностью (с субъективной сложностью) с точки зрения простоты восприятия текста носителями русского языка. В качестве материала исследования используются новостные медиатексты с вебсайтов вузов на русском языке, в качестве экспертов выбраны студенты бакалавриата и магистратуры. Анализ объективной лингвистической сложности медиатекстов проводится поэтапно для единиц разных языковых уровней. Субъективная оценка выявляется посредством анкетирования и метода экспертной оценки; в ряде случаев обработка значений параметров для вывода экспертной оценки проводится с использованием моделей искусственного интеллекта.

Для изучения корреляции параметров объективной и субъективной сложности предлагается экспресс анализ грамматического и лексического аспектов текстового материала. Определение весового коэффициента лексической сложности осуществляется с использованием данных словаря частотности [5]. Определение весового коэффициента синтаксической сложности осуществляется посредством анализа употребления пунктуационных средств, которые являются маркерами осложненных и сложных конструкций. Для каждого медиатекста, предварительно оцененного группой экспертов как «хороший» или «плохой» с точки зрения простоты восприятия, выявлен процент частотности употребления сложных лексических единиц и синтаксических конструкций.

Определение весовых коэффициентов грамматической и лексической сложности медиатекста с целью выявления корреляции между объективной и субъективной сложностью будет способствовать улучшению качества сервисов для анализа языковой доступности текста. В дальнейшем результаты исследований будут дополняться установлением зависимостей между субъективной оценкой (понятностью) текста и более сложными для изучения параметрами, такими как логичность изложения, мотивация и др.

Литература

1. *Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В. [и др.]*. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие. – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.
2. *Blinova O.V., Tarasov N.A., Modina V.V., Blekanov I.S.* Modeling Lemma Frequency Bands for Lexical Complexity Assessment of Russian Texts // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной международной конференции «Диалог» (Москва, 17–20 июня 2020 г.). – М., 2020. – Вып. 19 (26) – Р. 76–92.
3. *Dahl Ö.* The growth and maintenance of linguistic complexity. – Amsterdam: John Benjamins, 2004. – 336 p.
4. *Лапошина А.Н., Лебедева М.Ю.* Текстометр: онлайн-инструмент определения уровня сложности текста по русскому языку как иностранному // Русистика. – 2021. – № 3. – С. 331–345.
5. *Ляшевская О.Н., Шаров С.А.* Частотный словарь современного русского языка (на материалах Национального корпуса русского языка). – М.: Азбуковник, 2009. – 1087 с.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32H747

Д.И. Шевалдина^{1, 2}

¹ Томский политехнический университет, Томск, Россия
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
daryashev1@gmail.com

LABORATORY MODEL FOR DIGITAL PROCESSING ANALOG SIGNALS AND IMAGES BASED ON STM32H747 MICROCONTROLLER

D.I. Shevaldina^{1, 2}

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

Алгоритмы цифровой обработки сигналов находят своё применение в широком диапазоне систем: от узкоспециализированного промышленного использования до бытовой электроники. Часто возникает необходимость привести сигнал к наиболее удобному виду для восприятия, исключить помеху, проанализировать его параметры [1]. Для выполнения типовых задач цифровой обработки сигналов существует большое количество методов, таких как цифровая фильтрация, дискретное преобразование Фурье и другие. Для подготовки квалифицированных кадров в области обработки сигналов изучение алгоритмов обработки необходимо внедрять в образовательный процесс. Для решения этой проблемы был разработан лабораторный макет для цифровой обработки аналоговых сигналов и изображений на базе микроконтроллера STM32H747, его внешний вид представлен на рис. 1.

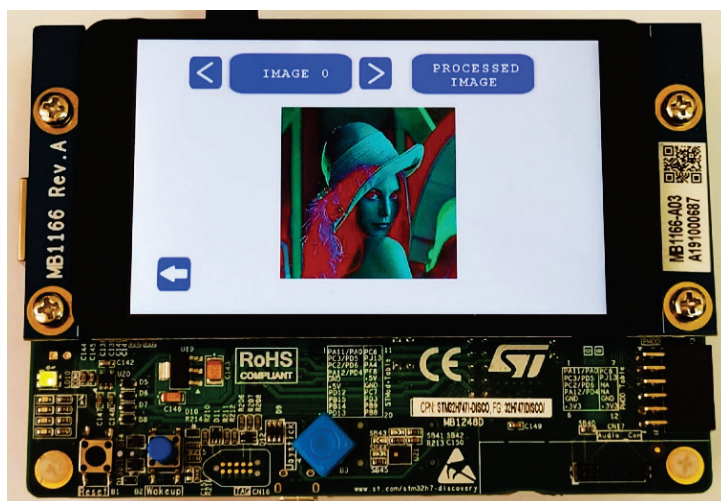


Рис. 1. Внешний вид лабораторного модуля

Для проведения цифровой фильтрации на макете предусмотрена генерация сигналов различной формы с возможностью регулировки амплитуды, частоты и наложением помех на все сигналы. Раздел работы с дискретным преобразованием Фурье позволяет вывести вычисленный студентами амплитудный спектр на дисплей устройства для наглядного определения спектрального состава анализируемого сигнала. Раздел обработки аудиосигналов предусматривает возможность управлять воспроизведением считанных из памяти тестовых и обработанных треков, которые выводятся в аудиовыход, к которому подключаются наушники для прослушивания. Интерфейс для раздела обработки изображений позволяет просматривать исходные и обработанные изображения для выяснения результата применения алгоритмов обработки. Также одной из лабораторных работ является обработка медицинских сигналов, а именно ЭКГ и ЭЭГ, на дисплее отображается краткий анализ по выявленным параметрам в результате обработки сигналов.

Таким образом, использование данного лабораторного макета позволит получить обучающимся навыки цифровой обработки аналоговых сигналов и изображений.

Литература

1. *Оттенгейм А.* Цифровая обработка сигналов – М.: Техносфера, 2012. – 1046 с.

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВНТРЕЧЕРЕПНЫХ ГЕМАТОМ

Е.А. Юрченко

Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация
kattifi@mail.ru

DEVICE FOR AUTOMATION OF THE PROCESS OF INVESTIGATION OF IR SPECTROSCOPY METHOD FOR DIAGNOSTICS OF ECNCRANIAL HEMATOMA

E.A. Yurchenko

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Травмы головного мозга нередко сопровождаются появлением внутричерепных гематом. Поэтому очень важно оперативно выявить наличие, размер и местоположение гематомы. На сегодняшний день основными инструментальными методами для выявления внутричерепных гематом головного мозга являются магнитно-резонансная и компьютерная томографии, однако они не позволяют проводить экспресс диагностику, в том числе, в условиях нахождения пострадавшего вне медицинского учреждения.

Одним из перспективных методов для разработки подобного устройства является метод ИК-спектроскопии. Однако данный метод еще не достаточно хорошо изучен и актуальной задачей является проведение детальных исследований применимости данного метода для расширения его диагностических возможностей.

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса для проведения подобных исследований с возможностью последующей автоматизацией процесса сбора и анализа данных.

На сегодняшний день, на рынке существует прибор Infrascanner model 2000 [1] (разработанный компанией InfraScan) представляющий собой переносной детектор внутричерепных гематом, работающий в ближнем ИК-диапазоне (808 нм). Согласно приведенным экспериментальным исследованиям [2, 3], данное устройство имеет высокую диагностическую чувствительность. Показаны результаты, что вероятность выявления наличия гематом составляет 90% (при условии, что залегание гематомы не более 2,5 см от коры мозга и размером более 3,5 см³). Однако, данное устройство не позволяет определить параметры самой гематомы (размер, глубина залегания, точная локализация), которые очень важны для проведения реанимационно-реабилитационных действий.

В нашей работе представлены результаты разработки системы автоматического сканирования гематом различного размера и локализации.

Система построена с использованием трех шаговых двигателей 17HS4401, управляемых посредством микроконтроллера STM32F407, и включающая в себя схемы управления источником и приемником излучения в ИК диапазоне (805–808 нм).

Разработанная система позволяет осуществлять передвижение гематомы внутри фантома головы и автоматически снимать оцифрованные диаграммы принятого сигнала.

Проведение подобных исследований позволит в значительной степени развить метод ИК-спектроскопии в части его диагностических возможностей.

Литература

1. *The Infrascanner Model 2000* [Электронный ресурс]. – URL: <http://infrascanner.com/wp-content/uploads/2014/12/IFS-Brochure.1.9.15.pdf> (дата обращения: 03.04.2022).
2. *Bressan S. [et al.] The use of handheld near-infrared device (Infrascanner) for detecting intracranial haemorrhages in children with minor head injury // Childs Nerv Syst.* – 2013. – Vol. 30. – P. 477–484.
3. *Robertson C.S. [et al.] Clinical Evaluation of a Portable Near-Infrared Device for Detection of Traumatic Intracranial Hematomas // Journal of Neurotrauma.* – 2010. – Vol. 27, № 9. – P. 1597–1604.

ОБЗОР ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИГР

И.Д. Шульга

Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация

shulga.irina20762@yandex.ru

OVERVIEW OF EDUCATIONAL GAMES

I.D. Shulga

State University, Tomsk, Russian Federation

Идея использования игрового формата в образовании появилась довольно давно. Игровой формат в обучении может представлять собой как отдельные игровые элементы (геймификация), так и цельную образовательную игру (игровое обучение).

Игровое обучение – обучение в рамках полноценной игры. Цельная образовательная игра позволяет учесть психологические аспекты удержания внимания и мотивации обучающегося, а также открыть новые возможности визуализации теоретического материала и получения практических навыков. Данный игровой формат обучения требует от разработчиков игры учёта психологических аспектов всего игрового процесса: от восприятия отдельных цветов до создания сюжета, удерживающего внимание обучающегося.

В данной работе представлен обзор существующих на сегодняшний день образовательных игр, сделанный в рамках разработки образовательной игры по квантовым технологиям. Данная игра позволит школьникам в игровой форме получить определенные знания по квантовой физике, квантовым коммуникациям, волоконно-оптическим линиям связи и квантовым вычислениям. Разрабатываемая игра является частью единого образовательного портала центра квантовых технологий Томского государственного университета.

Литература

1. *Tomorrow Corporation: Human Resource Machine.* Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <http://tomorrowcorporation.com/humanresourcemachine> (дата обращения: 03.07.2022).
2. *Kerbal Space Program.* Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kerbalspaceprogram.com/> (дата обращения: 03.07.2022).
3. *Shenzhen I/O.* Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zachtronics.com/shenzhen-io/> (дата обращения: 03.07.2022).
4. *Minecraft Education Edition.* Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://education.minecraft.net/en-us/homepage> (дата обращения: 03.07.2022).

5. *Discovery Tour* by Ubisoft. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ubisoft.com/en-gb/game/assassins-creed/discovery-tour> (дата обращения: 03.07.2022).
6. *This War of Mine*. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.thiswarofmine.com/#home> (дата обращения: 03.07.2022).
7. *Игры в образовании: This War of Mine* [Электронный ресурс] // Официальный сайт правительства Польши. – URL: <https://www.gov.pl/web/grywedukacji/this-war-of-mine> (дата обращения: 03.07.2022).
8. *Tresium*. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://triseum.com/> (дата обращения: 03.07.2022).

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛИЗМОВ СТИХОВ «КАНОНА СТИХОВ» (ШИ ЦЗИН) КАК ЧЕТЫРЁХМЕРНЫХ МАТРИЦ

И.Б. Бурдонов, А.А. Карнов

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Россия
{igor, karnov}@ispras.ru

COMPUTER ANALYSIS OF PARALLELISMS OF VERSES OF THE "CANON OF POEMS" (SHI JING) AS FOUR-DIMENSIONAL MATRICES

I.B. Burdonov, A.A. Karnov

Ivannikov Institute for System Programming of the RAS, Moscow, Russia

Математик, который не является в известной мере поэтом,
никогда не будет настоящим математиком.

К. Вейерштрасс

Нельзя быть математиком,
не будучи в то же время и поэтом в душе.

С. Ковалевская

Все науки должны стать математикой.

Новалис

Гуманитарные науки были не по зубам старой математике,
но с появлением компьютеров у математики
начинают отрастать эти зубы мудрости.

И. Бурдонов

В работе исследуется задача анализа регулярности многомерных матриц, основанной на повторении значимых (не пустых) символов в ячейках матрицы. Такое повторение означает, что при сдвиге матрицы по одной или нескольким её координатам некоторые значимые символы сохраняются. Для каждого сдвига, повторяющегося r раз, вводится число регулярности как произведение rs , где s – число значимых символов сохраняющихся при всех r повторениях сдвига. Вводятся две числовые характеристики регулярности матрицы: сумма регулярности и коэффициент регулярности.

Сумма регулярности определяется как сумма чисел регулярности при всех возможных сдвигах матрицы и позволяет сравнивать регулярность матриц одной формы, т.е. одной размерности и одного размера с одинаковым расположением непустых символов.

Коэффициент регулярности позволяет сравнивать регулярность произвольных матриц и определяется как процентное отношение суммы регулярности матрицы к сумме регулярности «самой регулярной» матрицы (все значимые символы которой одинаковы) той же формы. Предложены алгоритмы вычисления суммы и коэффициента регулярности матрицы, которые были реализованы в компьютерных программах.

В качестве прикладной области в работе используется анализ регулярной структуры стихотворений древнекитайского «Канона стихов» (Ши цзин) [1–4]. Стихотворение представляется четырёхмерной матрицей, её координаты – это строфа, строка в строфе, стих в строке и иероглиф в стихе; пустые символы выравнивают размеры стихов, строк и строф. В работе приводятся обобщающие результаты компьютерных экспериментов со всеми 305 стихотворениями Ши цзина.

Литература

1. *Спирин В.С.* Построение древнекитайских текстов. – СПб.: Петербургское востоковедение, 2006. – 276 с.
2. *Кобзев А.И.* Юбилей русского перевода «Ши цзина» и нерешённые проблемы. // Россия – Китай: история и культура: сборник статей и докладов участников X Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во АН РТ, 2017. – С. 265–274.
3. *Бурдонов И.Б.* «Центральное» стихотворение Ши-цзина. // Общество и государство в Китае. – 2019. – Т. 49-2. – С. 311–328.
4. *李玉良.* 《诗经》中的重章叠唱及其翻译 [Электронный ресурс] // 《〈诗经〉翻译探微》. 调色盘网. – URL: <https://www.tspweb.com/key/重章叠唱是什么手法.html> (дата обращения: 06.04.2022).

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM8S207RB

А.А. Трубачев¹, Д.И. Шевалдина^{1, 2}

¹Томский политехнический университет, Томск, Россия

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
aat64@tpru.ru

LABORATORY MODEL FOR DIGITAL PROCESSING ANALOG SIGNALS AND IMAGES BASED ON STM32H747 MICROCONTROLLER

A.A. Trubachev¹, D.I. Shevaldina^{1, 2}

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

На сегодняшний день весьма актуальной является задача подготовки специалистов в области микропроцессорной техники, что требует повышения интереса студентов к процессу обучения основам программирования микроконтроллеров [1]. Для решения данной задачи был разработан лабораторный макет на базе микроконтроллера STM8S207RB. Макет формировался таким образом, чтобы задачи, решаемые на нем, были практико-ориентированными и охватывали большое количество периферийных модулей микроконтроллера.

Разработанный лабораторный макет предполагает использование для обучения студентов работы с микроконтроллерами серии STM8S и различными периферийными устройствами, датчиками. Обучающиеся изучают основы работы микроконтроллеров и рассматривают принципы разработки электронных устройств на их основе.

В учебной программе дисциплины предусмотрено изучение принципов работы портов ввода/вывода микроконтроллера, прерываний, таймеров, АЦП, ЦАП, интерфейсов UART, SPI, I2C и т.д. Для этого на плате предусмотрены такие блоки, как непосредственно сам микроконтроллер и возможность его соединения с матрицей кнопок 4 × 4, ультразвуковым датчиком, джойстиком, датчиком температуры, шаговыми двигателями, акселерометром, энкодером, дисплеем, сервоприводом, преобразователем USB-UART, SD-картой, цифровым потенциометром и ЦАПами (предполагается изучение ЦАПа с параллельным интерфейсом и интерфейсом SPI). На рис. 1 представлена структурная схема разработанной отладочной платы.

На рис. 1 представлен внешний вид лабораторного макета.

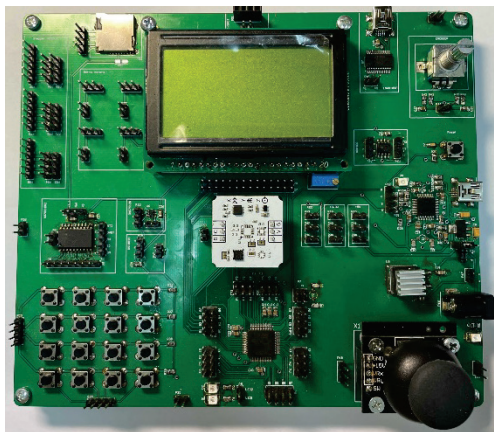


Рис. 1. Внешний вид лабораторного макета

Разработанный макет используется в образовательном процессе Томского политехнического университета в рамках дисциплин «Основы микропроцессорной техники» и «Микроконтроллерные устройства».

Литература

1. Торгаев С.Н., Мусоров И.С., Чертихина Д.С. [и др.]. Основы микропроцессорной техники: микроконтроллеры STM8S: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. политехнического ун-та, 2014. – 130 с.

Секция 2. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

РАСШИРЕНИЕ СЛОВАРЯ ПОЗИТИВНОЙ / НЕГАТИВНОЙ ЛЕКСИКИ ПОСРЕДСТВОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.Р. Байрашева, В.Д. Соловьев, М.В. Исламов

¹ Казанский федеральный университет, Казань, Россия
Maki.solovyev@mail.ru

EXPANDING THE POSITIVE/NEGATIVE VOCABULARY USING NEURAL NETWORK

V. Bayrasheva, V. Solovyev, M. Islamov

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Для sentiment анализа текстов и в ряде других задач важно иметь словарь с рейтингами степени позитивности/негативности слов. Основным способом построения такого словаря является опрос респондентов – носителей языка с усреднением выставляемых ими рейтингов. Однако этот способ весьма трудоемок. Для русского языка таким образом создан словарь на 1 000 слов, размещенный на сайте проекта <https://kpfu.ru/tehnologiya-sozdaniya-semanticheskikh-elektronnyh.html>. Он создан с использованием сервиса Яндекс.Толока. Обзор существующих словарей такого типа для русского языка можно найти в [1].

Необходимость иметь значительно большие по объему словари вынуждает применить технологии экстраполяции рейтингов, в том числе, с применением нейронных сетей. Мы использовали стандартную модель BERT для экстраполяции имеющихся рейтингов на новые слова и в результате сгенерировали словарь на 25 тыс. слов. В настоящее время для русского языка существует еще один словарь такого же размера – SenticNet, однако он создан переводным способом с английского, что не обеспечивает надежности оценок. В наш словарь отобраны наиболее частотные слова содержательных частей речи. Оценки приведены к диапазону (0, 1), 1 соответствует наиболее позитивным словам. Значения выбранных на стадии дообучения BERT гиперпараметров: num_train_epochs = 10, per_device_train_batch_size = 64, per_device_eval_batch_size = 64. Словарь доступен по вышеуказанному адресу.

Сравнение оценок респондентов и BERT дало коэффициент корреляции Спирмена 0,71, что указывает на достаточно высокое качество машинного словаря. Средний рейтинг слов машинного словаря равен 0,57, что несколько выше среднего значения, т.е. среднее слово русского языка имеет небольшую позитивную окраску. Это является подтверждением для русского языка известной гипотезы Pollyanna о позитивном сдвиге лексики языков [2].

Обсуждается несколько возможных применений словаря. Одна из них – пополнение существующих словарей. Приведены примеры заведомо позитивных и негативных слов, отсутствующих в наиболее известном ресурсе RuSentiLex [3]. Показано, как созданный словарь может быть применен для дальнейшего изучения гипотезы Pollyanna о позитивном сдвиге и количественных литературоведческих исследованиях.

Из Национального корпуса русского языка (<https://ruscorpora.ru/>) выбраны тексты разных жанров: fiction, science, public, speech, blogs. Средняя оценка позитивности/негативности слов из этих текстов оказалась равна 0,624; 0,620; 0,630; 0,636; 0,650 соответственно. Это вновь подтверждает гипотезу о позитивном сдвиге и показывает, что для разных жанров степень позитивности/негативности слов колеблется не слишком сильно за счет очевидно преобладания нейтральных слов. Для выполнения расчетов нами разработан инструментарий, доступный по адресу <https://filology-web.herokuapp.com/>.

Проанализирован ряд произведений художественной литературы. Показано, что позитивная/негативная ориентация произведения лучше описывается не средним значением, а долей слов заведомо негативных (оценка меньше 0,2) и заведомо позитивных (оценка выше 0,8). Например, доля заведомо негативной лексики в романе «Преступление и наказание» более чем в 2,5 раза превосходит долю таких слов в «Мартин Иден». Таким образом, в руки филологов предоставляется новый объективный количественный подход к анализу художественных произведений.

Литература

1. Котельников Е.В. [и др.]. Современные словари оценочной лексики для анализа мнений на русском и английском языках (аналитический обзор) // Научно-техническая информация. Серия 2. – 2020. – № 12. – С. 16–33.
2. Kloutmann I.M., Danforth C.M., Harris K.D., Bliss C.A., Dodds P.S. Positivity of the English Language // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 1–7.
3. Loukachevitch N., Levchik A. Creating a General Russian Sentiment Lexicon // Proceedings of Language Resources and Evaluation Conference LREC-2016 / edited by Calzolari N., Choukri Kh., Declerck Th. [et al]. – Portorož: European Language Resources Association, 2016. – P. 1171–1176.

ОБУЧЕНИЕ С ОЦЕНКОЙ СИТУАЦИИ

А.Ю. Комаров

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

LEARNING WITH SITUATION ASSESSMENT

A.Yu. Komarov

The Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Основы метода, известного в настоящее время как обучение с подкреплением, были заложены в 1960-е гг. М.Л. Цетлиным и его коллегами [1]. В 1990-е метод получил широкое распространение благодаря работам Р. Саттона и Э. Барто [2], обобщившим методику построения таких интеллектуальных систем и предложившим набор стратегий для этого вида машинного обучения. При этом то, что у М.Л. Цетлина называлось системой штрафов и нештрафов, Р. Саттон и Э. Барто в согласии с психологической терминологией назвали соответственно системой поощрений (англ. reward) и наказаний, а сам метод – методом обучения с подкреплением (англ. reinforcement learning). Суть его состоит в том, что, реагируя тем или иным образом на внешние воздействия, агент получает «награды» или «наказания», выражаемые, например, числом из отрезка $[-1; 1]$. Такая оценка действий позволяет далее оптимизировать поведение агента так, чтобы суммарное поощрение стремилось к максимуму. Идеология метода, таким образом, осталась прежней [3. С. 9–10], в целом подобной тому, что происходит при дрессировке животных.

Методы класса обучение с подкреплением за последние двадцать лет получили широкое признание, однако, представляется, что семантика дрессуры, необходимость второго действующего лица, дрессировщика или учителя, который внешним образом оценивает действия агента, выглядит архаично и мешает развитию метода. С точки зрения идеологии метод ставит робота (агента) в подчинённое условному дрессировщику положение, что противоречит принципу, отмеченному в работе [2] в качестве базового, согласно которому обучение происходит во взаимодействии со средой, в которой по умолчанию нет никаких дрессировщиков. Помехой является и сама парадигма «стимул-реакция», на основе которой строится цепочка «стимул-реакция-поощрение», являющаяся для данного метода центральной, поскольку бихевиористская схема «стимул-реакция» предполагает, что агент лишь реагирует на стимулы, не проявляя собственной активности. Реакции агента при этом могут быть либо случайными, либо являться результатом оптимизационного процесса, однако собственная активность по сути не предполагается. В настоящее время, однако, полностью реактивные роботы в широком классе задач не являются приемлемым решением ни с точки зрения теории, ни с точки зрения практики построения интеллектуальных систем.

Попытки преодолеть указанные ограничения привели к возникновению концепции внутренних «критиков» [4], являющихся вполне независимыми частями интеллектуальной системы агента и выполняющими роль предсказателей для получаемых в ответ на действия агента оценок или качества выбираемых агентом стратегий в целом, причём иногда рассматривают структуры, состоящей из комплексов таких «критиков». Такой подход, отвечая на некоторые частные вопросы и ускоряя в целом оптимизационный процесс, не решает, однако, проблему активности агента по существу.

Кардинальным решением указанной проблемы является подход, кратко описанный с работе [5], названный автором «обучение с оценкой ситуации». Суть его заключается в том, что вместо цепочки «стимул-реакция-оценка-...» рассматривается последовательность вида «ситуация-оценка-действие-...», в которой важно то, что оценивается не действие агента, а ситуация, в которой агент в данный момент находится. Очевидно, что оценить ситуацию агент может и самостоятельно, хотя и внешней оценке здесь тоже ничто не препятствует. Это означает, что при таком подходе снимаются ограничения реактивной модели, и метод естественным образом обобщается для применения во всех классах интеллектуальных систем, в том числе и в моделях, связанных с активным поведением. При таком обобщении все методы, разработанные в классе моделей обучения с подкреплением, остаются применимыми и все результаты сохраняются, поскольку формальная перестановка оценки в тройке с третьего места на второе содержательно ничего не меняет. Если же требуется оценить как ситуацию, так и действие, то в качестве оценки именно действия можно естественным образом воспользоваться разностью между оценками текущей и предыдущей ситуаций. Важно, однако, что речи о стимулах, реакциях, штрафах, поощрениях, наказаниях и ни о какой вообще семантике, связанной с дрессурой, больше не идёт, разработчик при таком подходе смотрит на мир уже глазами робота, что концептуально открывает возможности дальнейшего развития и расширения метода для применения его также и при обучении активных, самостоятельных высокоинтеллектуальных агентов.

Литература

1. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.
2. Sutton R., Barto A. Reinforcement Learning: An Introduction. – Cambridge: MIT Press, 1998. – 548 с.

3. Стефанюк В.Л. Локальная организация интеллектуальных систем. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 328 с.
4. Prokhorov D., Wunsch D. Adaptive critic designs // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1997. – Vol. 8, № 5 – P. 997–1007.
5. Комаров А.Ю. Нормы и ценности в когнитивной структуре агента // Эпистемы: сборник научных статей. Вып. 11: Ценности и нормы в структуре рационального знания. – Екатеринбург: Издательско-полиграфическое предприятие «Макс-Инфо», 2016. – С. 74–78.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ С НИЗКОЙ ТРУДОЕМКОСТЬЮ

В.С. Фоминский, А.В. Замятин

Томский государственный университет, Томск, Россия
korollich@mail.ru

LOW COMPLEXITY ALGORITHM FOR IDENTIFICATION OF BEHAVIORAL PATTERNS

V.S. Fominskii, A.V. Zamyatin

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Анализ видеоданных включает в себя различные задачи, одной из которых является распознавание действий – идентификация поведенческих паттернов. Идентификация поведенческих паттернов может быть применена для решения множества практических задач, включая, например, столь актуальные задачи обеспечения безопасности.

В настоящее время наиболее востребованными алгоритмами для анализа видеоданных являются алгоритмы, основанные на использовании нейросетевых подходов и архитектур. Как правило, такие подходы обладают высокой точностью и универсальностью, однако с повышением сложности применяемых нейросетевых архитектур существенно возрастают требования к производительности нейросетевых вычислительных сред и систем, а следовательно – и требования к трудоемкости соответствующего алгоритмического обеспечения.

Высокая сложность может быть обусловлена большим количеством параметров в структуре нейронных сетей. Например, нейронные сети, использующие 3D-свертки, обладают крайне высокой вычислительной сложностью. При этом использование 3D-сверток обеспечивает высокую точность по сравнению с более простыми подходами [1, 2]. С другой стороны, вычислительная сложность может быть обусловлена необходимостью вычисления дополнительных признаков. Например, двупотоковые нейронные сети [3] помимо необработанных кадров используют также и оптический поток [4] для представления информации о движении.

Таким образом, для снижения вычислительной сложности необходимо оптимизировать существующие подходы. В данной работе предлагается снизить вычислительную сложность за счет использования правильно подобранных параметров моделей, обеспечив компромисс между точностью и вычислительной сложностью [1]. Факт использования алгоритма на реальном наборе данных, который содержит меньше классов действий, по сравнению с исследовательскими наборами данных, такими как Moments in time [5] или Something-something V2 [6], позволяет применить ряд оптимизаций для снижения трудоемкости.

Литература

1. Chen C.-F. [et al.]. Deep Analysis of CNN-based Spatio-temporal Representations for Action Recognition [Электронный ресурс] // arXiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2010.11757> (дата обращения: 15.07.2022).
2. Hutchinson M. [et al.]. Accuracy and Performance Comparison of Video Action Recognition Approaches // IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC). – Cambridge: IEEE, 2020. – P. 1–8.
3. Simonyan K., Zisserman A. Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2014. – Vol. 27. – P. 568–576.
4. Horn B.K.P., Schunck B.G. Determining optical flow // Artif. Intell. – 1981. – Vol. 17, № 1–3. – P. 185–203.
5. Monfort M. [et al.]. Moments in Time Dataset: One Million Videos for Event Understanding // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – Los Alamitos: IEEE Computer Soc. – 2020. – Vol. 42, № 2. – P. 502–508.
6. Goyal R. [et al.]. The “something something” video database for learning and evaluating visual common sense // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – New York: IEEE. – 2017. – P. 5843–5851.

НЕПАРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ИЗОБРАЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CYCLEGAN НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМЕРА

Ч. Гу, М.Л. Громов

Томский государственный университет, Томск, Россия
chongyugu@gmail.com

UNPAIRED IMAGE-TO-IMAGE CONVERSION USING CYCLEGAN BASED TRANSFORMER

Ch. Gu, M.L. Gromov

Tomsk State University, Tomsk, Russia
chongyugu@gmail.com

Свёрточные нейронные сети на сегодняшний день являются основой компьютерного зрения благодаря двум основным особенностям: локальной связности и механизму совместного использования параметров. Но сверточные архитектуры активно вытесняются трансформерами [1] в задачах классификации изображений [2], семантической сегментации [3], обнаружении объектов [4] и задачах GAN (Generative adversarial network – *англ.* Генеративно-сопоставительная сеть) [5, 6]. Трансформерные архитектуры обладают широкими возможностями представления свойств объектов и свободны от смещенных оценок свойств. Напротив, свёрточные архитектуры подвержены сильному смещению локальных оценок свойств и пространственной инвариантности из-за совместного использования весовых коэффициентов фильтров.

Предлагаемая нами модель представляет собой модифицированную сеть CycleGAN [7], полностью свободную от сверток, использующую только чистые трансформеры для кодирования. Кодер состоит из двух блоков. Первый блок состоит из модуля множественного внутреннего внимания (multi-head self-attention), а второй блок – из многослойного перцептрона с прямой связью и нелинейностью GELU. Перед обоими блоками встроены слои нормализации. На рис. 1 представлены архитектуры генератора и дискриминатора разработанной нами сети TransCycleGAN.

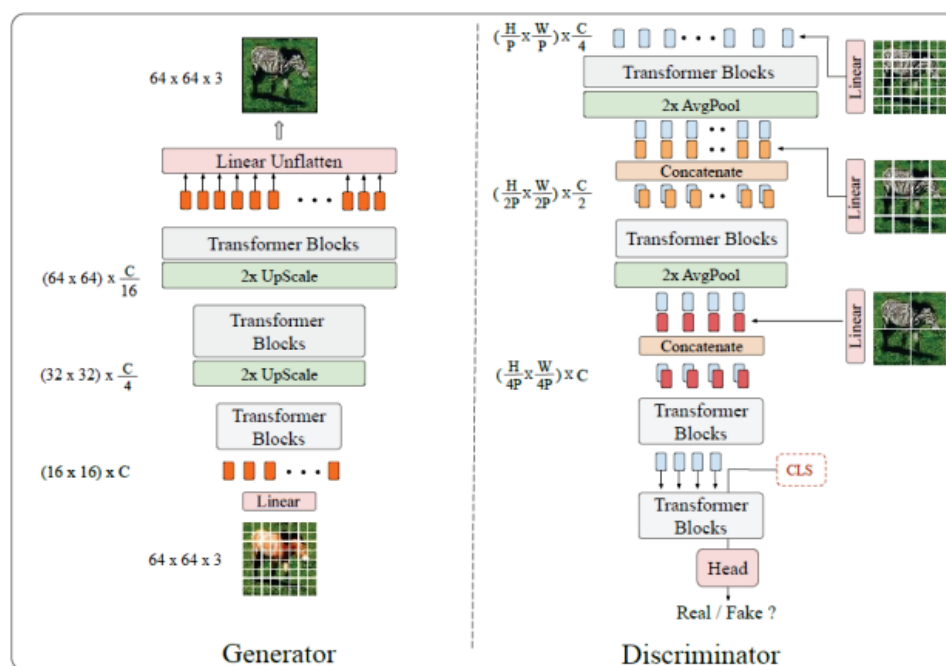


Рис. 1. Архитектуры генератора (слева) и дискриминатора (справа) сети TransCycleGAN

Разработанная сеть была опробована на стандартном наборе данных для преобразования изображения в изображение, размер horse2zebra изменен до 64×64 . Настройки сети были сделаны такими же, как и для TransGAN и использовались потери, введенные в CycleGAN. В процессе обучения применялась аугментация данных: сдвиг с вероятностью 1,0, смена цвета с вероятностью 0,3 и вырезание с вероятностью 1,0. Штраф за градиент не использовался, который обычно используется для обучения GAN, потому что это приводит к серьезным проблемам с обесцвечиванием. Предложенная модель достигла оценки FID [8] 80,54 на horse2zebra 64×64 и 93,05 на zebra2horse 64×64 . Прямое сравнение с другими моделями будет сделано в дальнейшей работе.

Литература

1. *Vaswani A., Shazeer N., Parmar N [et al.]*. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.
2. *Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. [et al.]*. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale [электронный ресурс] // arXiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2010.11929> (дата обращения: 30.07.2022).
3. *Bao H., Dong L., Wei F.* BEiT: BERT Pre-Training of Image Transformers [Электронный ресурс] // arXiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2106.08254> (дата обращения: 30.07.2022).
4. *Caron M., Touvron H., Misra I. [et al.]*. Emerging Properties in Self-Supervised Vision Transformers [Электронный ресурс] // arXiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2104.1429> (дата обращения: 30.07.2022).
5. *Jiang Y., Chang S., Wang Z.* TransGAN: Two Pure Transformers Can Make One Strong GAN, and That Can Scale Up [электронный ресурс] // arXiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2102.07074> (дата обращения: 30.07.2022).
6. *Lee K., Chang H., Jiang L. [et al.]*. ViTGAN: Training GANs with Vision Transformers [Электронный ресурс] // arXiv.org. – URL: <https://arxiv.org/abs/2107.04589> (дата обращения: 30.07.2022).
7. *Zhu J.-Y., Park T., Isola P., Efros A.A.* Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks // Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – Cambridge: IEEE, 2017. – P. 2223–2232.
8. *Heusel M., Ramsauer H., Unterthiner T., Nessler B., Hochreiter S.* GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium [электронный ресурс] // arXiv.org, 2018. – URL: <https://arxiv.org/abs/1706.08500> (дата обращения: 30.07.2022).

Секция 3. СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

РОБАСТНАЯ ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ С МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ И ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

К.С. Ким, В.И. Смагин

Томский государственный университет, Томск, Россия
vsm@mail.tsu.ru

ROBUST EXTRAPOLATION IN DISCRETE SYSTEMS WITH MULTIPLICATIVE PERTURBATIONS AND INTERVAL PARAMETERS

K.S. Kim, V.I. Smagin

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation
vsm@mail.tsu.ru

Задача синтеза фильтров, экстраполяторов и наблюдателей для динамических систем с неопределенными параметрами, в частности, с интервальными параметрами, рассматривались в работах [1–3]. В настоящей работе решена задача робастной экстраполяции в дискретных системах с мультипликативными возмущениями с неизвестным входом и интервальными параметрами.

Пусть модель объекта с интервальными параметрами описывается разностным уравнением:

$$x(k+1) = \tilde{A}x(k) + Bu(k) + \sum_{l=1}^{m_1} \Lambda_l x(k) \zeta_l(k) + f(k) + q(k), \quad x(0) = x_0,$$

где $x(k) \in \mathbb{R}^n$ – вектор состояния, $u(k) \in \mathbb{R}^p$ – известный вход; $f(k)$ – неизвестный вход, x_0 – случайный вектор (предполагаются известными дисперсионная матрица $N_0 = M\{(x_0 - \bar{x}_0)(x_0 - \bar{x}_0)^T\}$ и математическое ожидание $\bar{x}_0 = M\{x_0\}$); \tilde{A} – интервальная матрица (с нижней и верхней границей \underline{A} и \bar{A} соответственно), Λ_l ($l = 1..m_1$), B – заданные матрицы; $q(k)$, $\zeta_l(k)$ ($l = 1..m_1$) – векторные гауссовские случайные последовательности со следующими характеристиками: $M\{q(k)\} = 0$, $M\{q(k)q^T(j)\} = Q(k)\delta_{kj}$, $M\{\zeta(k)\} = 0$, $M\{\xi(k)\xi^T(j)\} = Z(k)\delta_{kj}$ (δ_{kj} – символ Кронекера).

По косвенным наблюдениям $y(k) = Sx(k) + v(k)$, где $v(k)$ – гауссовская случайная последовательность с характеристиками: $M\{v(k)\} = 0$, $M\{v(k)v^T(j)\} = V(k)\delta_{kj}$, требуется на интервале $[0, T]$ найти оценку прогноза $\hat{x}(k)$, на основе минимизации следующего критерия: $J(0;T) = M\{\sum_{k=0}^T e^T(k)e(k)\}$, где $e(k) = x(k) - \hat{x}(k)$ – вектор ошибок.

Воспользовавшись вероятностным подходом интервальную матрицу \tilde{A} заменим на матрицу, элементы которой зависят от случайных величин: $A(\theta) = (A + \sum_{s=1}^m A_s \theta_s)$, где θ_s – независимые случайные величины, распределенные по равномерному закону распределения на интервале $[-1, +1]$ ($-1 \leq \theta_s \leq 1$ ($s = \overline{1, m}$)). Матрица $A = \frac{1}{2}(\underline{A} + \bar{A})$ является медианой интервальной матрицы (номинальная матрица). Значение $m \leq n^2$ определяет количество интервальных элементов в матрице \tilde{A} (матрица A_s , соответствующая ij -му интервальному элементу матрицы \tilde{A} определится по следующему правилу: ее ij -й элемент вычисляется по формуле $(A_s)_{ij} = \frac{1}{2}(\bar{A} - \underline{A})_{ij}$, при этом все остальные элементы будут равны нулю).

В этом случае исходная модель объекта описывается разностным уравнением:

$$x(k+1) = A(\theta)x(k) + Bu(k) + \sum_{l=1}^{m_1} \Lambda_l x(k) \xi_l(k) + f(k) + q(k), \quad x(0) = x_0.$$

Для построения оценки будем использовать рекуррентный алгоритм экстраполятора Калмана

$$\hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + \hat{f}(k) + K(k)(y(k) - S\hat{x}(k)), \quad \hat{x}(0) = \bar{x}_0,$$

где $K(k)$ – матрица коэффициентов передачи экстраполятора.

Задача робастной экстраполяции решается с использованием принципа разделения и метода наименьших квадратов для вычисления $\hat{f}(k)$ [4].

Литература

1. Ichalal D., Marx B., Maquin D., Ragot J. State estimation of system with bounded uncertain parameters: interval multi-model approach // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2018. – Vol. 32 (3). – P. 480–493.
2. Wang Z., Lim C., Shen Y. Interval observer design for uncertain discrete time linear systems // Systems & Control Letters. – 2018. – Vol. 116. – P. 41–46.
3. Ким К.С., Смагин В.И. Экстраполяция в дискретных системах с мультипликативными возмущениями при неполной информации // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 47. – С. 49–56.
4. Smagin V.I. Prediction of states of discrete systems with unknown input of the model using compensation // Russian Physics Journal. – 2017. – Vol. 59, № 9. – P. 1507–1514.

УРАВНЕНИЯ МОМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЁРТВОГО ВРЕМЕНИ В КОРРЕЛИРОВАННОМ И РЕКУРРЕНТНОМ ОБОБЩЁННЫХ МАР-ПОТОКАХ СОБЫТИЙ

А.В. Кеба, Л.А. Нежельская

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

EQUATIONS OF MOMENTS FOR ESTIMATION OF DEAD TIME IN CORRELATED AND RECURRENT GENERALIZED MAP

A.V Keba, L.A. Nezhelskaya

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Рассматривается обобщённый МАР-поток событий с произвольным числом состояний [1] (далее – поток), функционирующий в установившемся режиме. Сопровождающий случайный процесс $\lambda(t)$ изучаемого потока представляет собой кусочно-постоянный принципиально ненаблюдаемый случайный процесс с n состояниями: S_1, S_2, \dots, S_n . Полагается, что при $\lambda(t) = \lambda_i$ имеет место i -е состояние (S_i), $i = \overline{1, n}$, процесса $\lambda(t)$, при этом $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n > 0$. Наблюдаемыми являются моменты времени наступления событий потока t_1, t_2, \dots . Функция распределения случайной величины – длительности пребывания процесса $\lambda(t)$ в состоянии S_i – есть $F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$, $t \geq 0$, $i = \overline{1, n}$. В момент окончания состояния S_i процесс $\lambda(t)$ переходит из S_i в S_j с вероятностью $P_1(\lambda_j | \lambda_i)$ с наступлением события потока или с вероятностью $P_0(\lambda_j | \lambda_i)$ без наступления события потока, $i, j = \overline{1, n}$. Отметим, что для введённых вероятностей справедливо $\sum_{j=1}^n P_0(\lambda_j | \lambda_i) + \sum_{j=1}^n P_1(\lambda_j | \lambda_i) = 1$, $i = \overline{1, n}$.

Каждое зарегистрированное событие потока создаёт период ненаблюдаемости фиксированной длительности T (мёртвое время [2]), в течение которого другие события исходного потока не наблюдаются (теряются); кроме того, события, наступившие в течение периода мёртвого времени, не вызывают его продления (непродлевающееся мёртвое время). Первое наступившее после периода мёртвого времени событие потока снова создаёт период мёртвого времени длительности T [3] и т.д.

В данной работе решается задача оценивания методом моментов длительности мёртвого времени T в коррелированном и рекуррентном наблюдаемых потоках при $n = 2$ на основании выборки t_1, t_2, \dots .

Чтобы найти \hat{T} , необходимо решить уравнение моментов $M\tau = C_1$, где $M\tau$ – теоретический начальный момент 1-го порядка, $C_1 = (1/m) \sum_{k=1}^{m-1} \tau_k$ – выборочный момент, $\tau_k = t_{k+1} - t_k$.

Уравнения моментов как для коррелированного, так и для рекуррентного потоков принимают вид

$$T + \gamma(T) (z_2 - z_1) / z_1 z_2 + 1/z_2 = C_1,$$

$$\gamma(T) = (z_2 - \lambda_1 \pi_1(T) [P_1(\lambda_1 | \lambda_1) + P_1(\lambda_2 | \lambda_1)] - \lambda_2 \pi_2(T) [P_1(\lambda_1 | \lambda_2) + P_1(\lambda_2 | \lambda_2)]) / (z_2 - z_1),$$

$$z_{1,2} = [\lambda_1 (1 - P_0(\lambda_1 | \lambda_1)) + \lambda_2 (1 - P_0(\lambda_2 | \lambda_2)) \mp \sqrt{D}] / 2, \quad 0 < z_1 < z_2,$$

$$D = [\lambda_1 (1 - P_0(\lambda_1 | \lambda_1)) - \lambda_2 (1 - P_0(\lambda_2 | \lambda_2))]^2 + 4\lambda_1 \lambda_2 P_0(\lambda_2 | \lambda_1) P_0(\lambda_1 | \lambda_2),$$

$$\pi_i(T) = \pi_i - [\pi_i - \pi_i(0|T)] e^{-aT}, \quad i = 1, 2, \quad \pi_1 = [\lambda_2 (P_0(\lambda_1 | \lambda_2) + P_1(\lambda_1 | \lambda_2))] / a, \quad \sum_{i=1}^2 \pi_i = 1, \quad (1)$$

$$\pi_1(0|T) = [p_{21} + \pi_1 (p_{11} - p_{21}) (1 - e^{-aT})] / [p_{12} + p_{21} + (p_{22} - p_{12}) (1 - e^{-aT})], \quad \sum_{i=1}^2 \pi_i(0|T) = 1,$$

$$P_{ii} = \frac{P_1(\lambda_i|\lambda_1)(1-P_0(\lambda_2|\lambda_2))+P_0(\lambda_2|\lambda_1)P_1(\lambda_i|\lambda_2)}{(1-P_0(\lambda_1|\lambda_1))(1-P_0(\lambda_2|\lambda_2))-P_0(\lambda_1|\lambda_2)P_0(\lambda_2|\lambda_1)}, P_{2i} = \frac{P_1(\lambda_i|\lambda_2)(1-P_0(\lambda_1|\lambda_1))+P_0(\lambda_1|\lambda_2)P_1(\lambda_i|\lambda_1)}{(1-P_0(\lambda_1|\lambda_1))(1-P_0(\lambda_2|\lambda_2))-P_0(\lambda_1|\lambda_2)P_0(\lambda_2|\lambda_1)},$$

$$a = \lambda_1(P_0(\lambda_2|\lambda_1)+P_1(\lambda_2|\lambda_1))+\lambda_2(P_0(\lambda_1|\lambda_2)+P_1(\lambda_1|\lambda_2)), i = 1, 2.$$

При выполнении условия рекуррентности $P_1(\lambda_1|\lambda_1)P_1(\lambda_2|\lambda_2)-P_1(\lambda_2|\lambda_1)P_1(\lambda_1|\lambda_2)=0$ в формуле (1) следует заменить $\pi_i(0|T)$ величинами p_{ji} , $i, j = 1, 2$, $i \neq j$.

Литература

1. Кеба А.В., Нежелская Л.А. Оптимальное оценивание состояний обобщенного МАР-потока событий с произвольным числом состояний в условиях непродлевающегося мертвого времени // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 56. – С. 68–80.
2. Леонова М.А., Л.А. Нежелская Оценка максимального правдоподобия длительности мёртвого времени в обобщённом асинхронном потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 2 (23). – С. 54–63.
3. Василевская Т.П., Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание длительности мёртвого времени и параметров синхронного альтернирующего потока с проявлением либо не проявлением событий // Вестник Томского государственного университета. – 2004. – № S9-2. – С. 129–138.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АРИФМЕТИК НАД СЛУЧАЙНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Б.С. Добронетц, О.А. Попова, А.М. Мерко

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

COMPUTATIONAL ASPECTS AND METHODS FOR IMPLEMENTING PROBABILISTIC ARITHMETICS OVER RANDOM VARIABLES

B.S. Dobronets, O.A. Popova, A.M. Merko

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

В анализе стохастических моделей важную роль играют арифметические операции над случайными переменными. В рамках теории вероятности хорошо известны аналитические формулы вычисления законов распределения арифметических операций от случайных переменных. Они сводятся к вычислению интегралов типа свертки от совместных функций плотности вероятности случайных переменных. Подробный обзор по арифметическим операциям над независимыми случайными переменными приведен в [1]

В вычислительном вероятностном анализе рассмотрены численные реализации вероятностных арифметик над функциями плотности вероятности случайных переменных [2]. Рассмотрено представление функций плотности вероятности кусочно-полиномиальными моделями (сплайнами) и аналитическими функциями.

Реализация арифметических операций над двумя случайными величинами x , y основана на работе с их совместной функцией плотности вероятности $p(x, y)$.

Например, для нахождения плотности вероятности $p_{x_1x_2}$ операции умножения двух случайных величин $x_1 \cdot x_2$, используется соотношение

$$p_{x_1x_2}(x) = \int_0^{\infty} (1/v)p(x/v, v)dv - \int_{-\infty}^0 (1/v)p(v, x/v)dv. \quad (1)$$

В случае, когда случайные величины x , y являются независимыми и имеют функции плотности вероятности, представленные кубическими сплайнами, s_x , s_y совместную функцию плотности вероятности можно представить в виде произведения $p(x, y) = s_x s_y$. Поскольку кубический сплайн на каждом отрезке сетки представляет кубический полином, то $p(x, y)$ в случае вычисления интегралов (1) будет кусочно-полиномиальной функцией шестой степени. Рассмотрены случаи вычисления интеграла (1) в аналитическом виде. Это позволит свести численные ошибки к минимуму. Таким образом, вычислив значения $p_{x_1x_2}$ на сетке $\omega\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ результат арифметической операции можно представить в виде кусочно-полиномиальной функции. В случае кубических сплайнов справедлива оценка

$$\|p_{x_1x_2}^{(\nu)} - s^{(\nu)}\| \leq Kh^{4-\nu} \|p_{x_1x_2}^{(4)}\|, \nu = 0, 1, 2.$$

Сложность при численной реализации заключается в том, что исходные функции плотности вероятности и результаты вычисления интеграла (1) могут иметь сингулярности. В этом случае в работе предложено расширить кусочно-полиномиальные модели, представления функций плотности вероятности, участками содержащих аналитические функции.

В работе приводится численный пример вычисления произведения двух случайных величин, когда результат $z = \mathbf{x}\mathbf{y}$ – функция плотности вероятности содержит сингулярность. Используя аналитические вычисления эту сингулярность можно приблизить аналитической функцией, показано использование z для дальнейших вычислений.

Использование расширенных кусочно-полиномиальных моделей для представления функций плотности вероятности и аналитических вычислений позволит значительно улучшить построение вероятностных расширений [3] и вероятностный анализ систем со случайными входными данными.

Литература

1. Jaroszewicz S, Korzeń M. *Arithmetic Operations on Independent Random Variables: A Numerical Approach* // SIAM Journal of Scientific Computing. – 2012. – Vol. 34 (3). – P. A1241–A1265.
2. Добронец Б.С., Попова О.А. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы: монография. – Красноярск: СФУ, 2020. – 236 с.
3. Dobronets B.S., Popova O.A. *Computational Aspects of Probabilistic Extensions* // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 47. – С. 41–48.

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В МНОГОМЕРНЫХ ГАУССОВСКИХ СИСТЕМАХ МЕТОДАМИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

А.Е. Кащеева, А.А. Сурина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия
dallila87@mail.ru

ON THE ISSUE OF RISK MANAGEMENT IN MULTIDIMENSIONAL GAUSSIAN SYSTEMS BY FIRST-ORDER METHODS

A.E. Kashcheeva, A.A. Surina

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

На основе подхода к моделированию многомерного риска, предложенного в [1] и модели многомерного риска из [2] в работе [3], предлагается задача достижения приемлемого (или требуемого) уровня риска r^* (1) при минимальном изменении числовых характеристик случайного вектора \mathbf{X}_0 :

$$\begin{cases} f(\mathbf{a}, \Sigma) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m (\sigma_{jk} - \sigma_{jk}^0)^2 + \sum_{i=1}^m (a_i - a_i^0)^2 \rightarrow \min_{\mathbf{a}, \Sigma}, \\ r(\mathbf{X}) \geq r^*, \Sigma \in G_{\Sigma}, \mathbf{a} \in H_{\mathbf{a}}. \end{cases} \quad (1)$$

Сама задача (1) решается с помощью метода штрафных функций. Однако для решения задачи безусловной минимизации в [4] предлагается использовать методы нулевого порядка.

Для нахождения минимального значения вспомогательной функции для (1) выбраны методы первого порядка, а именно метод градиентного спуска и метод Флетчера-Ривса, которые были адаптированы для решения данной задачи. В общем случае, методы первого порядка решают задачу минимизации функции путем вычисления градиента.

При моделировании задачи с большим числом факторов риска возникают сложности с поиском частных производных, поскольку необходимо вычислять значение по каждому из параметров, что заметно тормозит процесс решения. Так для двух факторов риска будет 5 производных, для трех – 9, а для четырех – 14.

В рамках данного исследования была выведена общая формула для нахождения количества производных первого порядка m – количества факторов риска:

$$d = \frac{m \cdot (m + 1)}{2} + m$$

Аналитическим путем была выведена формула общего вида частных производных для n факторов риска.

Производная диагональных элементов ковариационной матрицы:

$$\frac{\partial F(\Sigma, a, b_k)}{\partial \sigma_{jj}} = 2 \cdot (\sigma_{jj} - \sigma_{jj}^0) + b_k \cdot \left(\sum_{j=1}^m -\frac{1}{\sigma_{jj}^2} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m \frac{\sigma_{jjj\neq m}}{(\sigma_{jj}\sigma_{kk} - \sigma_{jk}^2)^2} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m \frac{1}{(\sigma_{jj}^- - \sigma_{jj})^2} - \frac{1}{(\sigma_{jj} - \sigma_{jj}^+)^2} \right)$$

Производная элементов нижнетреугольной матрицы:

$$\frac{\partial F(\Sigma, a, b_k)}{\partial \sigma_{jk}} = 2 \cdot (\sigma_{jj} - \sigma_{jj}^0) + b_k \cdot \left(\sum_{j=1}^m -\frac{1}{\sigma_{jj}^2} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m \frac{2\sigma_{jk}}{(\sigma_{jj}\sigma_{kk} - \sigma_{jk}^2)^2} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=j}^m \frac{1}{(\sigma_{jk}^- - \sigma_{jk})^2} - \frac{1}{(\sigma_{jk} - \sigma_{jk}^+)^2} \right)$$

Производная элементов математического ожидания:

$$\frac{\partial F(\Sigma, a, b_k)}{\partial \sigma_{jk}} = 2 \cdot (a_i - a_i^0) + b_k \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{(a_i^- - a_i)^2} - \frac{1}{(a_i - a_i^+)^2} \right)$$

Рассмотренные методы первого порядка для безусловной минимизации риска для формирования управленческих рекомендаций при исследовании здоровья популяции. В докладе приведены результаты апробации при формировании управленческих рекомендаций для снижения значений риска возникновения хронических неинфекционных заболеваний.

Литература

- 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.
- Тырсин А.Н., Сурина А.А. Модели мониторинга и управления риском в гауссовских стохастических системах // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2018. – Т. 23, № 124. – С. 776–783. – DOI: 10.20310/1810-0198-2018-23-124-776-783
- 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.
- Surina A.A. Optimization Algorithms for Risk Management in Multidimensional Gaussian Systems // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2020. – Vol. 7 (3). – P. 60–74.

ОЦЕНИВАНИЕ НЕТТО-РЕЗЕРВОВ В НЕПРЕРЫВНЫХ АКТУАРНЫХ МОДЕЛЯХ

Г.М. Кошкин

Томский государственный университет, Томск, Россия
kgm@mail.tsu.ru

ESTIMATION OF THE NET PREMIUM RESERVES IN CONTINUOUS ACTUARIAL MODELS

G.M. Koshkin

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Эффективность финансовой деятельности страховой компании зависит от правильного расчета нетто-премии для различных видов страхования необходимых категорий и возрастных групп населения [1]. В долгосрочном страховании жизни при расчетах премий за риск учитывается динамика ценности денег, основанная на процентной ставке δ с непрерывно начисляемым процентом по вкладу [2–7]. В этом случае для выработки управляющих решений страховой фирме следует предварительно оценить нетто-премию, которая гарантирует фирме средний нулевой доход.

Пусть случайная величина X – продолжительность жизни, x – возраст индивидуума в момент заключения договора, $T(x) = X - x$ – остаточное время жизни этого индивидуума. В актуарной математике размер страхового пособия принимают в качестве единицы измерения денежных сумм, поэтому нетто-премия при полном страховании жизни для непрерывной модели равна математическому ожиданию $E\{e^{-\delta T(x)}\}$ и обозначается $\bar{A}_x = \frac{1}{1 - F(x)} \int_0^{\infty} e^{-\delta t} dF(x+t)$, где $F(x)$ – функция распределения случайной величины X .

Известно, что расчет нетто-резервов (резервов нетто-премий) основан на использовании характеристик соответствующего вида страхования [1, с. 196], [3, с. 250]. Так, нетто-резерв для возраста x на момент заключения договора, момента t и страховой суммы условного размера 1 определяется формулой ${}_t\bar{V}(\bar{A}_x) = (\bar{A}_{x+t} - \bar{A}_x) / (1 - \bar{A}_x)$ ([1, с. 198, формула (7.3.10)]).

В работе решается задача оценивания по случайной выборке X_1, \dots, X_n нетто-резервов ${}_t\bar{V}(\bar{A}_x)$. Также рассматривается задача оценки нетто-резервов ${}_t\bar{V}(\bar{A}_x)$ с использованием априорной информации о среднем времени жизни EX и остаточном времени жизни $ET(x)$. Синтез оценок, учитывающих такую априорную информацию, проводится по методике, приведенной в [8, 9].

Доказываются асимптотические свойства предложенных оценок: несмещенность, состоятельность и нормальность. Результаты статистического моделирования показывают, что точность оценивания с учетом информации о среднем времени жизни и остаточном времени жизни увеличивается по сравнению с обычной оценкой.

Литература

1. Bowers N.L., Gerber H.U., Hickman J.C., Jones D. Actuarial Mathematics. – Itasca, The Society of Actuaries, 1986. – 624 p.
2. Фалин Г.И., Фалин А.И. Введение в актуарную математику. – М.: МГУ, 1994. – 86 с.

3. Фалин Г.И. Математические основы теории страхования жизни и пенсионных схем. – М.: Анкил, 2002. – 262 с.
4. Кошкин Г.М. Введение в математику страхования жизни. – Томск: ТГУ, 2004. – 112 с.
5. Кошкин Г.М., Лопухин Я.Н. Оценивание нетто-премий в моделях долгосрочного страхования жизни // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2003. – Т. 10(2) – С. 315–330.
6. Koshkin G.M., Lopukhin Ya.N. On Estimation of Net Premiums in Collective Models of Life Insurance // Proc. of the 11th Annual Intern. AFIR Colloquium. – Toronto, 2001. – P. 447–457.
7. Lopukhin Ya.N., Koshkin G.M. On Estimation of Net Premium in Collective Life Insurance // 5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Proceedings. KORUS 2001. – New-York: IEEE, 2001. – Vol. 2. – P. 296–299.
8. Дмитриев Ю.Г., Кошкин Г.М. Использование дополнительной информации при непараметрическом оценивании функционалов плотности // Автоматика и телемеханика. – 1987. – № 10. – С. 47–59.
9. 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.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ФУНКЦИИ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ О МОМЕНТАХ ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА

Ю.Г. Дмитриев, Г.М. Кошкин

Томский государственный университет, Томск, Россия
dmit@mail.tsu.ru, kgm@mail.tsu.ru

NONPARAMETRIC ESTIMATION OF THE RELIABILITY FUNCTION USING INFORMATION ON THE MOMENTS OF FAILURE-FREE OPERATION TIME FOR NON-RESTORABLE ELEMENT

Yu.G. Dmitriev, G.M. Koshkin

Tomsk State University, Tomsk, Russia

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 . Пусть известны начальные моменты

$$b_j = b_j(F) = \int_0^{\infty} t^j dF(t), \quad j = 1, 2, 3, 4,$$

которые однозначно определяют среднее, дисперсию, коэффициенты асимметрии и эксцесса времени безотказной работы элемента. 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 начальных моментах b_j , $j = 1, 2, 3, 4$, времени безотказной работы исследуемого элемента. В качестве оценки функции надежности $S(t)$ с учетом такой дополнительной информации возьмем (см. [1])

$$\hat{S}(t, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4) = \hat{S}(t) - \sum_{j=1}^4 \lambda_j (\bar{t}^j - b_j),$$

где $\hat{S}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c(T_i - t)$ – эмпирическая оценка функции выживания, $c(u) = \{1 : u \geq 0, 0 : u < 0\}$, $\bar{t}^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^j$ –

оценка начального момента b_j . Оптимальные параметры λ_j^0 , $j = 1, 2, 3, 4$, находятся из минимума главной части среднеквадратической ошибки (СКО) оценки $\hat{S}(t, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4)$. Показывается, что СКО оптимальной оценки $\hat{S}(t, \lambda_1^0, \lambda_2^0, \lambda_3^0, \lambda_4^0)$ меньше СКО оценки $\hat{S}(t)$. Предложены адаптивные оценки, в которых оптимальные параметры λ_j^0 , $j = 1, 2, 3, 4$, оценивались также по выборке T_1, \dots, T_n . Находятся предельные распределения полученных оценок, что позволяет построить интервальные оценки функции надежности.

Заменяя 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 // *Известия вузов. Физика.* – 2014. – Т. 57, № 5. – С. 96–103.
3. *Fuks I., Koshkin G.* Smooth recurrent estimation of multivariate reliability function // *International Conference on Information and Digital Technologies.* – New-York: IEEE, 2015. – P. 84–89.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ПОЛУРЕКУРРЕНТНЫЕ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В ARX-МОДЕЛЯХ

Г.М. Кошкин, И.Г. Пивен

Томский государственный университет, Томск, Россия

kgm@mail.tsu.ru, josef_@mail.ru

NONPARAMETRIC SEMI-RECURSIVE IDENTIFICATION AND CONTROL ALGORITHMS IN ARX-MODELS

G.M. Koshkin, I.G. Piven

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Пусть случайная последовательность $\{Y_t, t = \dots, -1, 0, 1, \dots\}$ генерируется авторегрессией-регрессией

$$Y_t = \psi(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k}, X_t, \dots, X_{t-q-1}, U_t, \dots, U_{t-s-1}) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где Y_t – выходная переменная, случайные величины X_t и U_t – неуправляемый и управляемый входы, не зависящие от ε_t , $\psi: R^{k+q+s} \rightarrow R^1$ – неизвестная борелевская функция, $\{\varepsilon_t\}$ – последовательность независимых и одинаково распределенных случайных величин со средним $E\varepsilon_t = 0$ и дисперсией $D\varepsilon_t = \sigma^2 < \infty$.

Заметим, что U_t может зависеть от $\{Y_j, j \leq t\}$, а аддитивная помеха в (1) облегчает анализ. Потребуем ограниченности функции ψ , положительности плотности распределения ε_t на R^1 с $E\varepsilon_t^3 = 0$ и $E\varepsilon_t^4 < \infty$, что гарантирует геометрическую эргодичность марковской цепи

$$\{Z_t = (Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k}, X_t, \dots, X_{t-q-1}, U_t, \dots, U_{t-s-1}) = (\bar{Y}_{t-1}, \bar{X}_t, \bar{U}_t)\}$$

и выполнение для нее условия сильного перемешивания с коэффициентом [1, 2]

$$\alpha(\tau) \leq c_0 \rho_0^\tau, \quad 0 < \rho_0 < 1, \quad c_0 > 0.$$

Это позволяет функцию ψ в (1) оценить аналогом рекуррентной регрессионной статистики типа Надарая–Ватсона (ср. [3])

$$\psi_n(z) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{h_t} K\left(\frac{z - Z_t}{h_t}\right)}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{h_t} K\left(\frac{z - Z_t}{h_t}\right)}, \quad (2)$$

где $K: R^{k+q+s} \rightarrow R^1$ – ядерная функция, обладающая свойствами плотности распределения, $h_n \downarrow 0$.

Рассмотрим задачу стабилизации вектора $\bar{Y}_n = (Y_n, \dots, Y_{n-k})$ на уровне \bar{Y}^* . Следуя [4] и предполагая однозначность и непрерывность функции ψ , построим вектор значений управляемого входа:

$$\hat{U}_n(\bar{X}_n, \bar{Y}^*) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{\bar{U}_t}{h_t} K\left(\frac{\bar{X}_n - \bar{X}_t}{h_t}\right) K\left(\frac{\bar{Y}^* - \bar{Y}_t}{h_t}\right)}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{h_t} K\left(\frac{\bar{X}_n - \bar{X}_t}{h_t}\right) K\left(\frac{\bar{Y}^* - \bar{Y}_t}{h_t}\right)}. \quad (3)$$

В работе находятся главные части СКО оценок (2)–(3). Достоверность и эффективность алгоритмов подтверждена как на реальных данных, так и по результатам статистического моделирования.

Литература

1. *Ango Nze P.* Criteres d'ergodicite de quelques modeles a representation marcovienne // *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.* – 1992. – Т. 315, Serie I. – P. 1301–1304.
2. *Hardle W., Tsybakov A., Yang L.* Nonparametric vector autoregression // *Journal of Statistical Planning and Inference.* – 1998. – Vol. 68. – P. 221–245.
3. *Китаева А.В., Кошкин Г.М.* Полурекуррентная непараметрическая идентификация в широком смысле нелинейной гетероскедастической авторегрессии // *Автоматика и телемеханика.* – 2010. – № 2. – С. 92–111.
4. *Медведев А.В.* Непараметрические системы адаптации. – Новосибирск: Наука, 1983. – 176 с.

MM ESTIMATION OF DISTRIBUTION PARAMETER OF THE DURATION OF UNEXTENDABLE RANDOM DEAD TIME IN THE RECURRENT SEMI-SYNCHRONOUS EVENT FLOW

A.M. Gortsev, A.V. Vetkina

Tomsk State University, Tomsk, Russia
anyavetkina@gmail.com

The paper describes semi-synchronous event flow operating in a stationary mode, the accompanying process (intensity) of which is a piecewise constant stationary random process $\lambda(t)$ with two states S_1 and S_2 . It is assumed that the first state of the process S_1 takes place if $\lambda(t)=\lambda_1$, and, conversely, the second state of the process S_2 takes place if $\lambda(t)=\lambda_2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). If the first state of the process S_1 takes place, then during the time interval when $\lambda(t)=\lambda_1$, a Poisson event flow with intensity λ_1 arrives. If the second state of the process S_2 takes place, then during the time interval when $\lambda(t)=\lambda_2$, a Poisson event flow with intensity λ_2 arrives. The transition from the state S_1 of the process $\lambda(t)$ to the state S_2 is possible only at the moment of the occurrence of the event (the property of synchronous event flows [1]), while this transition is carried out with probability p (with the probability $1-p$, the process $\lambda(t)$ remains in the state S_1). The transition from the state S_2 of the process $\lambda(t)$ to the state S_1 can be carried out at an arbitrary moment of time, not related to the moment of the event occurrence (property of asynchronous event flows [2]). In this case, the duration of the process $\lambda(t)$ in the second state is a random value distributed according to the exponential law $F(t) = 1 - e^{-\alpha_2 t}$, $t \geq 0$, where α_2 – the intensity of the change of state S_2 to S_1 . Since the transition from the second state to the first is possible at an arbitrary moment in time, i.e. it is not tied to the moment of occurrence of an event in the second state, the flow is called a semi-synchronous [3] doubly stochastic event flow.

After each registered event at time t_k , a period of dead time of random duration occurs, which is generated by this event, so that other events of the flow that occurred during this period of dead time are inaccessible to observation and do not cause its extension (unextendable dead time) [4]. It is assumed that the random duration of dead time is distributed according to a uniform law with a probability density $p(T) = 1/T^*$, where T is the value of the duration of dead time, $0 \leq T \leq T^*$.

A particular case of the functioning of a semi-synchronous event flow is considered, when $p = 1$, such a flow that with each occurrence of an event in the first state, passes into the second state. In this case the original event flow operating under dead-time conditions becomes a recurrent flow.

The purpose of this work is to estimate the parameter T^* based on a sample t_1, t_2, \dots of moments of occurrence events at recurrent semi-synchronous event flow with $p = 1$. The method of moments is used to estimate the parameter T^* [5]. A theoretical moment is obtained – the mathematical expectation of the duration of the interval between neighboring events in the observed flow:

$$M(\tau | T^*) = \frac{T^*}{2} + \frac{1}{\lambda_2 + \alpha_2} + \frac{\alpha_2}{\lambda_1(\lambda_1 + \alpha_2)} + \frac{\alpha_2(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1(\lambda_1 + \alpha_2)^2(\lambda_2 + \alpha_2)} \frac{1}{T^*} (1 - e^{-(\lambda_1 + \alpha_2)T^*}), T^* > 0.$$

The estimation \hat{T}^* is found numerically from the equation of moments $M(\tau | T^*) = C$, $C = (1/n) \sum_{k=1}^n (t_{k+1} - t_k)$; the value of C is found by simulation modelling of the observed flow.

Literature

1. *Gortsev, A.M. & Nezhelskaya, L.A.* Otsenivaniye dlitel'nosti mertvogo vremeni i parametrov sinkhronnogo al'terniruyushchego potoka sobytij [Dead time period and parameter estimation of synchronous alternating flow of events] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2003. – № S6. – P. 232–239. (In Russian).
2. *Leonova, M.A. & Nezhelskaya, L.A.* The probability of wrong decisions in the estimation of states of a generalized asynchronous flow of events. // Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. – 2012. – № 2 (19). – P. 88–101. (In Russian).
3. *Kalyagin, A.A. & Nezhelskaya, L.A.* Sravnenie MP- i MM-ocenok dlitel'nosti mertvogo vremeni v obobshchennom polusinhronnom potoke sobytij. // Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. – 2015. – № 3 (32). – P. 23–32. (In Russian).
4. *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.
5. *Malinkovskiy, Yu.V.* Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability Theory and Mathematical Statistics] – Gomel: Francisk Skorina Gomel State University, 2004 – 146 p. (In Russian).

О СТЕПЕННОЙ СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ ДЛЯ ОДНОЙ НЕРЕГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НАДЕЖНОСТИ

Г.А. Зверкина

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
zverkina@ipu.ru

ON POLYNOMIAL CONVERGENCE RATE FOR A NON-GENERATIVE RELIABILITY SYSTEM

G.A. Zverkina

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В работе [1] была изучена скорость сходимости распределения состояния системы надёжности, состоящей из двух зависимых восстанавливаемых элементов – в случае, когда интенсивности отказов и восстановления обоих элементов ограничены сверху и снизу положительными константами. В этой ситуации поведение системы надёжности может быть описано нерегенерирующим марковским процессом. Было доказано, что распределение состояния системы надёжности слабо сходится к некоторому инвариантному стационарному вероятностному распределению (т.е. соответствующий процесс эргодичен), и дан алгоритм вычисления строгой оценки скорости сходимости (в данном случае экспоненциальной) сверху.

В представленном докладе предполагается изложить алгоритм вычисления строгой оценки сверху для скорости сходимости распределения марковского нерегенерирующего процесса, описывающего систему надёжности, рассмотренную в [1] – но при более слабых условиях на интенсивности отказов и восстановления обоих элементов. Будут рассмотрены условия, при которых скорость сходимости распределения процесса, описывающего поведение системы надёжности, является степенной (полиномиальной).

Предложенный алгоритм опирается на метод склеивания (см., например, [2]) и обобщение неравенства Лордена [3]. Он может быть расширен на систему надёжности, состоящую из большего количества зависимых восстанавливаемых элементов с использованием подходов, предложенных в [4].

Литература

1. *Zverkina G. A System with Warm Standby // Computer Networks. CN 2019. Communications in Computer and Information Science – 2019. – Vol. 1039. – P. 387–399.*
2. *Zverkina G., Farkhadov M. On an estimate of the rate of convergence for regenerative processes in queuing theory and related problems [электронный ресурс] // arxiv.org, 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2111.09310> (дата обращения: 04.08.2022).*
3. *Kalimulina E., Zverkina G. On some generalization of Lorden's inequality for renewal processes [Электронный ресурс] // arxiv.org, 2019. – URL: <https://arxiv.org/abs/1910.03381> (дата обращения: 04.08.2022).*
4. *Zverkina G. Ergodicity and Polynomial Convergence Rate of Generalized Markov Modulated Poisson Processes // Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications. DCCN 2020. Communications in Computer and Information Science. – 2020. – Vol. 1337. – P. 367–381.*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С СЕЗОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Е.С. Катаева, А.Ю. Якимук

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
kes@fb.tusur.ru

SEASONAL TIME SERIES FORECASTING

E.S. Kataeva, A.Y. Yakimuk

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

Формирование у студентов компетенций по выявлению закономерности в динамике временных рядов является важной задачей в рамках дисциплин, связанных с применением математических моделей в экономических задачах. В рамках соответствующей дисциплины была проведена лабораторная работа, в которой рассматривались следующие данные:

– ряд с аддитивной сезонностью – индекс потребительских цен на свежие овощи (в качестве примера рассмотрены огурцы или помидоры, для которых в большинстве регионов эти ряды обладают ярко выраженной сезонностью, причем и в южных и северных областях);

– ряд с мультипликативной сезонностью – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций.

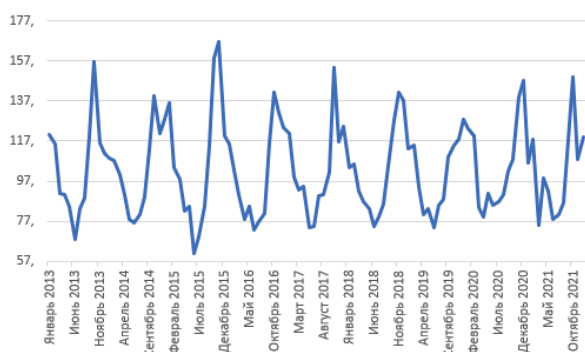


Рис. 1. ИПЦ на свежие огурцы, РФ (в процентах)

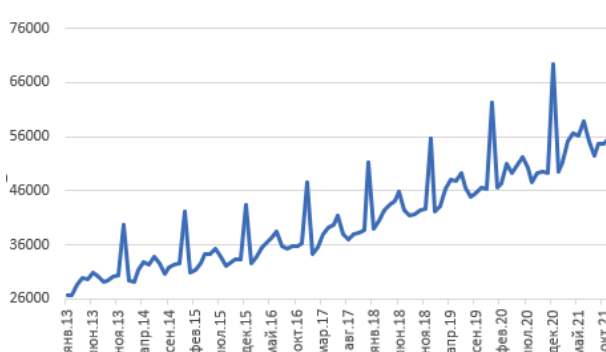


Рис. 2. Среднемесячная зарплата, РФ (в рублях)

Ранее [1] было получено, что ряды с аддитивной сезонностью с одинаковой точностью аппроксимируются тригонометрической регрессией, методом сезонного эффекта и сглаживанием с учетом сезонности, поэтому в работе использован только метод сезонного эффекта как наиболее просто реализуемый.

Для исследования данных использовались следующие методы:

- 1) метод сезонного эффекта [2];
- 2) адаптивная модель Хольта–Винтерса [3];
- 3) метод построения индексов [4].

Наиболее точной оказалась модель Хольта-Винтерса, что логично в силу адаптивной природы модели. При ее применении к рядам с мультипликативной сезонностью рекомендуется выбирать максимальным (0.9) параметр сглаживания для учета сезонной составляющей или среднего значения и средним (0.5) параметр учета тренда. Данные рекомендации предположительно подходят для рядов, в которых сезонная составляющая является определяющей – при построении такой модели для средней заработной платы средняя ошибка прогнозирования составляет 200–300 рублей.

Литература

1. Катаева Е.С. О качестве аппроксимации данных с периодической составляющей // Форум молодых ученых. – 2017. – № 11(15). – С. 412–418.
2. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов – М.: Мир, 1976. – 756 с.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с
4. Рахметова Р.У., Дуброва Т.А. Прикладные модели эконометрики. – Алматы: Экономика, 2011. – 324 с

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОЕДИНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОПЕРНИЧЕСТВА ЗА ПОЛОСУ ПРОПУСКАНИЯ

П.Х. Карим, П.А. Михеев, П.В. Приступа, С.П. Сущенко

Томский государственный университет, Томск, Россия

ssp.inf.tsu@gmail.com

PERFORMANCE OF A TRANSPORT CONNECTION IN CONDITIONS OF COMPETITION FOR BANDWIDTH

P.X. Karim, P.A. Mikheev, P.V. Pristupa, S.P. Sushchenko

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Важнейшей характеристикой абонентского соединения компьютерной сети является его быстродействие. Данный показатель определяется интенсивностью внешних по отношению к данному соединению потоков, имеющих с ним хотя бы часть общего маршрута. Традиционной моделью многозвенного транспортного соединения являются сети систем массового обслуживания (СМО). Однако аналитическое исследование сетей СМО возможно лишь при существенных ограничениях на входной поток и конкурентный трафик от других абонентов, имеющих хотя бы часть общего маршрута с исследуемым соединением, а также буферную емкость транзитных узлов. Кроме того, модель транспортного соединения в виде сети СМО не позволяет учесть особенности управляющих протокольных процедур. Основным индикатором «внешней» нагрузки на тракт, в котором проложено анализируемое транспортное соединение, являются размеры очередей перед протокольными блоками данных в транзитных узлах. Мониторинг такого индикатора позволяет оценить распределение длин очередей в транзитных узлах от внешних по отношению к анализируемому соединению

сетевых потоков и использовать при расчете операционных характеристик соединения и выборе протокольных параметров на время сеанса связи между заданной парой абонентов. В работе предложена математическая модель транспортного соединения, управляемого транспортным протоколом в режиме селективного отказа, учитывающая кроме фактора искажений в прямом и обратном трактах передачи данных и механизмов повторных передач, обусловленных искажениями и истечением тайм-аута неприема ответа от получателя потока информации, еще и очереди ненулевой длины от «внешних» межабонентских соединений для длительностей сквозного тайм-аута с интервальными ограничениями и ограничениями снизу. Данная модель обобщает [1, 2] на случай «внешней» нагрузки на анализируемое транспортное соединение при заданном распределении конечных длин очередей конкурентного трафика в транзитных узлах. Соединение моделируется параметризованной двумерной цепью Маркова с дискретным временем и конечным числом состояний, описывающей динамику очереди переданных, но не подтвержденных данных. Быстродействие транспортного соединения в условиях соперничества потоков от различных абонентов за полосу пропускания тракта передачи данных, определяется как отношение среднего объема данных, передаваемых между двумя последовательными получениями квитанций, к среднему времени получения квитанции [1, 2]. Вклад в быстродействие соединения дают состояния цепи Маркова, для которых возможно получение квитанции. Нормированное быстродействие соединения в нагруженном тракте, определяется отношением среднего количества сегментов, передаваемых отправителем между поступлениями двух последовательных квитанций, к среднему времени между поступлениями квитанций. Поскольку квитанции переносятся в каждом протокольном блоке независимо и поступают к отправителю каждый дискретный такт при условии, что они не искажены на пути от получателя до отправителя, то среднее время между приходами квитанций распределено по геометрическому закону. Средний объем передаваемых между поступлениями квитанций данных с учетом того, что каждый протокольный блок исследуемого соединения с заданной вероятностью встречает очередь и дает вклад в объем переданной информации обратно пропорциональный размеру очереди, задается обобщением соотношения, приведенного в [1, 2]. Численные исследования доступной полосы пропускания транспортного соединения в селективном режиме повторной передачи показали, что скорость передачи между абонентами определяется достоверностью передачи данных, распределением длин очередей протокольных блоков в транзитных узлах, и соотношением между длительностью круговой задержки и шириной окна. С ростом конкуренции за полосу пропускания скорость передачи быстро падает.

Литература

1. *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.
2. *Кокшениев В.В., Михеев П.А., Сущенко С.П.* Анализ селективного режима отказа транспортного протокола в нагруженном тракте передаче данных // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 3 (24). – С. 78–94.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА: ПОСТРОЕНИЕ, ОПЕРАЦИИ, ПРИЛОЖЕНИЯ

Б.С. Добронетц, О.А. Попова

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

SECOND-ORDER DISTRIBUTIONS: CONSTRUCTION, OPERATIONS, APPLICATIONS

B.S. Dobronets, O.A. Popova

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Использование эмпирических данных приводит к неопределенности вероятностных оценок. Для работы с неопределенными вероятностями существует несколько подходов [1, 2]. В работе [3] показано использование неопределенных вероятностей в инженерных расчетах. При работе с неопределенными вероятностями существенным препятствием является отсутствие эффективных арифметических операций.

Одним из подходов, моделирующим неопределенность вероятностных оценок, стало использование вероятностей второго порядка. Для их представления в рамках вычислительного вероятностного анализа рассмотрены кусочно-полиномиальные модели распределений второго порядка, в частности гистограммы второго порядка [4, 5].

Основа вычислительного вероятностного анализа – численные арифметические операции над функциями плотностей вероятностей и вероятностные расширения (построение законов распределений функций случайных аргументов). Функции плотности вероятности случайных величин x , y , z будем обозначать

полуэирным фонтом x, y, z . Тогда функция плотности вероятности z случайной величины $z = x * y$, $*$ $\in \{+, -, \cdot, / \}$ записывается в виде $z = x * y$.

Определение 1. Распределение второго порядка $f^{(2)}$ – случайное поле $f(x, \omega)$, $x \in D, \omega \in \Omega$ заданное на $D \subset R$, где $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ – вероятностное пространство. Обладает следующими свойствами: для фиксированного $\omega \in \Omega$, $f(\cdot, \omega)$ является функцией распределения f_ω .

Определение 2. Операции над распределениями второго порядка. Пусть $f^{(2)}, g^{(2)}$ – распределения второго порядка, $(\Omega_f, \mathcal{F}_f, \mathbb{P}_f), (\Omega_g, \mathcal{F}_g, \mathbb{P}_g)$ – соответственно их вероятностные пространства. Тогда результат операции $f^{(2)} * g^{(2)}$, $*$ $\in \{+, -, \cdot, / \}$ распределение второго порядка $F^{(2)}$:

$$F(\cdot, \omega) = \{f(\cdot, \omega_f) * g(\cdot, \omega_g) \mid (\omega_f, \omega_g) \in \Omega_*\}, \quad (1)$$

где $(\Omega_*, \mathcal{F}_*, \mathbb{P}_*)$ – вероятностное пространство, $\Omega_* = \Omega_f \times \Omega_g$.

Функции плотности вероятности второго порядка S будем представлять в параметризованном виде кусочно-полиномиальных моделей

$$S(x, s_1, \dots, s_n) = \sum_{i=1}^n s_i \varphi_i(x), x \in D,$$

где s_i – функции плотности вероятности случайных констант, φ_i – вещественные функции. Для этих целей мы можем использовать разложения Кархунена-Лозва, случайную интерполяцию [6]. Таким образом, численная реализация операций (1) осуществляется с использованием техники вероятностных расширений.

В работе приводятся примеры использования РВП для оценок надежности систем в условиях малых выборок, оценки риска инвестиционных проектов. В качестве численного примера показано построение и операции над РВП в условиях малых выборок с использованием кусочно-полиномиальных моделей.

Литература

1. *Augustin T., Coolen F., Cooman G., Troffaes M.* Introduction to Imprecise Probabilities. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. – 404 p.
2. *Ferson, S., Kreinovich V., Ginzburg L., Myers D.S., Sentz K.* Constructing Probability Boxes and Dempster-Shafer Structures. Sandia Technical Report, SAND2002-4015. – Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2003. – 143 p.
3. *Swiler L.P., Giunta A.A.* Aleatory and Epistemic Uncertainty Quantification for Engineering Applications. Sandia Technical Report, SAND2007-2670C. – Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2007. – 18 p.
4. *Добронец Б.С., Попова О.А.* Численный вероятностный анализ для исследования систем в условиях неопределенности // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 4 (21). – С. 39–46.
5. *Добронец Б.С., Попова О.А.* Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы: монография. – Красноярск: СФУ, 2020. – 236 с.
6. *Попова О.А.* Применение численного вероятностного анализа в задачах интерполяции // Вычислительные технологии. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 99–114.

ОДНОЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ВХОДЯЩИМ МАР-ПОТОКОМ СОБЫТИЙ

А.М. Горцев, Л.А. Нежелская

Томский государственный университет, Томск, Россия
ludne@mail.ru

SINGLE-LINE QUEUING SYSTEM WITH AN INCOMING MAP EVENT FLOWS

A.M. Gortsev, L.A. Nezhelskaya

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Систематизированное изложение систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО) с коррелированными потоками приведено в монографии [1]. Аналитическое исследование СМО и СеМО с коррелированными потоками представляет собой сложную, порой неразрешимую задачу. В настоящем докладе приводится аналитическое исследование однолинейной СМО с ожиданием, с входящим МАР-потокотом событий [2, 3] и экспоненциальным обслуживанием. Для стационарного режима выводятся явные выражения для средней длины очереди, среднего числа запросов в системе и вероятности простоя системы.

Рассматривается однолинейная СМО с ожиданием и длительностью обслуживания, распределённой по экспоненциальному закону. На вход обслуживающего прибора поступает МАР-поток событий (запросов, сообщений и т.п.), сопровождающий процесс $\lambda(t)$ которого есть кусочно-постоянный случайный процесс с

двумя состояниями: $\lambda(t) = \lambda_1$ либо $\lambda(t) = \lambda_2$ ($\lambda_1 > \lambda_2 > 0$). Будем говорить, что имеет место состояние S_j процесса $\lambda(t)$, если $\lambda(t) = \lambda_j$, $j = 1, 2$. Длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в состоянии S_j определяется случайной величиной с функцией распределения $F_j(t) = 1 - e^{-\lambda_j t}$, $j = 1, 2$. В момент окончания состояния S_j возможны ситуации, каждая из которых протекает мгновенно: 1) процесс $\lambda(t)$ переходит из S_j в S_i и наступает событие потока; совместная вероятность этой ситуации равна $0 < P_1(\lambda_i | \lambda_j) \leq 1$, $i, j = 1, 2$; 2) процесс $\lambda(t)$ переходит из S_j в S_i и событие потока не наступает; совместная вероятность этой ситуации равна $0 < P_0(\lambda_i | \lambda_j) \leq 1$, $i, j = 1, 2$, $i \neq j$. При этом $P_0(\lambda_i | \lambda_j) + P_1(\lambda_i | \lambda_j) + P_1(\lambda_j | \lambda_j) = 1$, $i, j = 1, 2$, $i \neq j$. В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – стационарный транзитивный марковский процесс с двумя состояниями λ_1 и λ_2 .

Обозначим $i(t)$ – число сообщений в очереди в произвольный момент времени t ($i(t) = 0, 1, \dots$). Случайный процесс $i(t)$ не является марковским, так как входящий МАР-поток событий обладает последствием. Для того чтобы построить марковский процесс, необходимо учесть состояние входящего потока. Введём дополнительную переменную $j(t)$ – состояние входящего МАР-потока, $j(t) = 1, 2$. Если $j(t) = 1$, то $\lambda(t) = \lambda_1$, если $j(t) = 2$, то $\lambda(t) = \lambda_2$. Тогда двумерный процесс $(i(t), j(t))$ становится марковским. Так как рассматривается стационарный режим ($t \rightarrow \infty$) то состояние системы будем обозначать (i, j) , $i = 0, 1, \dots$, (i, j) , $j = 1, 2$. Отметим, что возможны ещё два состояния: $(-1, 1)$, $(-1, 2)$, при которых в системе находится ноль сообщений (длина очереди равна нулю и прибор не обслуживает – прибор простаивает).

Обозначим $P(i, 1)$, $P(i, 2)$ – финальные вероятности состояний системы ($i = -1, 0, 1, \dots$). Для введённых вероятностей имеет место бесконечная система разностных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\begin{aligned} \mu P(i+1, 1) - (\lambda_1 + \mu) P(i, 1) + \lambda_1 P_1(\lambda_1 | \lambda_1) P(i-1, 1) + \lambda_2 P_0(\lambda_1 | \lambda_2) P(i, 2) + \lambda_2 P_1(\lambda_1 | \lambda_2) P(i-1, 2) &= 0, \\ \mu P(i+1, 2) - (\lambda_2 + \mu) P(i, 2) + \lambda_2 P_1(\lambda_2 | \lambda_2) P(i-1, 2) + \lambda_1 P_0(\lambda_2 | \lambda_1) P(i, 1) + \lambda_1 P_1(\lambda_2 | \lambda_1) P(i-1, 1) &= 0, \quad i = 0, 1, \dots, \quad (1) \\ \mu P(0, 1) - \lambda_1 P(-1, 1) + \lambda_2 P_0(\lambda_1 | \lambda_2) P(-1, 2) &= 0, \quad \mu P(0, 2) - \lambda_2 P(-1, 2) + \lambda_1 P_0(\lambda_2 | \lambda_1) P(-1, 1) &= 0. \end{aligned}$$

При этом характеристическое уравнение системы (1) имеет вид

$$\begin{aligned} (\xi - 1) \{ \mu^2 \xi^3 - \mu(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) \xi^2 + [\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_1 P_1(\lambda_1 | \lambda_1) \mu + \lambda_2 P_1(\lambda_2 | \lambda_2) \mu - \lambda_1 \lambda_2 P_0(\lambda_1 | \lambda_2) P_0(\lambda_2 | \lambda_1)] \xi + \\ + \lambda_1 \lambda_2 [1 - P_1(\lambda_1 | \lambda_1) - P_1(\lambda_2 | \lambda_2) - P_0(\lambda_1 | \lambda_2) P_0(\lambda_2 | \lambda_1) - P_0(\lambda_1 | \lambda_2) P_1(\lambda_2 | \lambda_1) - P_0(\lambda_2 | \lambda_1) P_1(\lambda_1 | \lambda_2)] \} = 0. \quad (2) \end{aligned}$$

Характеристическое уравнение (2) с учётом граничных условий и условия нормировки позволяет получить явный вид финальных вероятностей $P(i, 1)$, $P(i, 2)$, $i = -1, 0$.

Литература

1. Вишневский 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. 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.
3. Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов модулированного МАР-потока событий и условия рекуррентности потока // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – №1 (30). – С. 57–67.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАССЕЙЯНИЯ НА СТРУКТУРАХ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ТОНКИХ ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩИХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ

А.Г. Дмитренко, О.М. Балашова

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

dmitr.tsu.202@mail.ru, balashovajkz@mail.ru

SIMULATING OF ELECTROMAGNETIC SCATTERING BY STRUCTURES COSISTING OF THIN PERFECTLY CONDUCTING AND DIELECTRIC CYLINDERS

A.G. Dmitrenko, O.M. Balashova

Tomsk State University, Tomsk, Russia

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], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на структурах, состоящих из тонких прямолинейных идеально проводящих цилиндров, а также работы, например [2], в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на структурах, состоящих из тонких однородных прямолинейных диэлектрических цилиндров. Однако в литературе до сих пор отсутствуют работы, посвященные рассеянию на структурах, состоящих как из идеально проводящих, так и из диэлектрических тонких цилиндров, за исключением работ авторов данного доклада, в которых рассмотрено рассеяние электромагнитной волны на структурах, состоящих из одного идеально проводящего и одного диэлектрического цилиндров (см., например, [3]).

В данном докладе численный метод, предложенный ранее в [3], обобщен на случай структур, содержащих как несколько тонких идеально проводящих, так и несколько тонких диэлектрических цилиндров. 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 каждого идеально проводящего цилиндра размещен вспомогательный электрический ток, а на оси каждого диэлектрического цилиндра размещены как вспомогательный электрический ток, так и вспомогательный магнитный ток. Поле внутри каждого 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 на поверхностях всех цилиндров 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 исследованы характеристики рассеяния ряда конкретных структур. В докладе будут приведены результаты исследований.

Литература

1. *Rodger C.J., Wait J.R., Dowden R.L.* Electromagnetic scattering from a group of thin conducting cylinders // *Radio Science*. – 1997. – Vol. 32, № 3. – P. 907–912.
2. *Dadakaridis S.D., Papayannakis A.G., Kriezis E.E.* Scattering from a system of parallel thin dielectric cylinders of finite length // *Archiv für Elektrotechnik*. – 1987. – Vol. 70. – P. 23–29.
3. *Дмитренко А.Г., Балашова О.М.* Численный метод решения задачи электромагнитного рассеяния на тонких параллельных идеально проводящем и диэлектрическом цилиндрах // *Материалы VI Международной молодежной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем»* / под ред. И.С. Шмырина. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2011. – С. 230–236.

Секция 4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И BIG DATA

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО РАСЧЁТА РЕАКТОРА ДЛЯ СИНТЕЗА СОРБЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРЛИГНИНА. ТЕПЛООБМЕН ПРИ РАЗОГРЕВЕ РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ

В.С. Асламова¹, А.А. Асламов², Е.А. Головкова², Е.А. Шнейгельбергер³, А.А. Истомина²

¹Иркутский государственный университет путей и сообщения, Иркутск, Россия

²Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

³ООО «АйкьюЭкологджи», Иркутск, Россия

temnikova_ea@bk.ru

AUTOMATION OF THE THERMAL CALCULATION OF THE REACTOR FOR THE SYNTHESIS OF SORBENTS USING CHLORLIGNIN. HEAT EXCHANGE DURING HEATING OF THE REACTION MIXTURE

V.S. Aslamova¹, A.A. Aslamov², E.A. Golovkova³, E.A. Shneigelberger⁴, A.A. Istomina⁵

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

³ООО «АйкьюЭкологджи», Иркутск, Россия

temnikova_ea@bk.ru

Серосодержащий сорбент для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов получают на основе использования отходов производства эпихлоргидрина, хлорированного лигнина и полисульфидов натрия, получаемых из элементной серы и гидроксида натрия в водном растворе в присутствии гидразингидрата. Получение сульфидированного лигнина и серосодержащего сорбента на основе лигнина осуществляется в одном реакционном сосуде при непрерывном перемешивании. При этом необходимо правильно подобрать тип перемешивающего устройства, а также размер, число оборотов и мощность двигателя мешалки, для поддержания назначенной интенсивности перемешивания [1, 2].

В качестве химического реактора выбран ёмкостной, идеального смешения периодического действия, снабжённый трёхлопастной пропеллерной мешалкой.

Ранее авторами уже были реализованы расчёты физических свойств ингредиентов реакционной смеси, гидродинамический расчёт и определение объёма химического реактора [3].

На рис. 1 представлены результаты автоматизированного теплового расчёта химического реактора объёмом $V_n = 1,6 \text{ м}^3$ и количества теплоты, необходимой для нагрева суспензии (реакционной смеси).

Рис. 1. Интерфейс программы теплового расчета химического реактора

Литература

1. Барабаш В.М., Абиев Р.Ш., Кулов Н.Н. Обзор работ по теории и практике перемешивания // Теоретические основы химической технологии. – 2018. – Т. 52, № 4. – С. 367–383.
2. Асламова В.С., Головкова Е.А., Шнегельбергер Е.А. Алгоритм автоматизации выбора типа мешалки и расчета физических свойств гетерогенной смеси // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 2. – С. 31–34.
3. Асламова В.С., Асламов А.А., Головкова Е.А., Шнегельбергер Е.А. Автоматизация гидродинамического расчета трёхлопастной пропеллерной мешалки для производства серосодержащего сорбента на основе хлорлигнина, селективного к ионам тяжелых металлов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (70). – С. 48–58.

ПРОБЛЕМЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОЕКТНЫХ СУЩНОСТЕЙ В СТАНДАРТЕ OMG ESSENCE

Д.О. Змеев, Л.С. Иванова

Томский государственный университет, Томск, Россия

denis.zmeev@accounts.tsu.ru, lidiya.ivanova@persona.tsu.ru

PROJECT ENTITIES LIFECYCLE ISSUES IN OMG ESSENCE STANDART

L.S. Ivanova, D.O. Zmeev

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Стандарт OMG Essence [1] был опубликован в ноябре 2014 г. и является новой попыткой формализации существующих и новых процессов разработки. В стандарте можно выделить две основные части: Ядро, содержащее описание различных сущностей и процессов работы над ними и язык описания Essence.

Согласно стандарту OMG Essence сущности проекта, такие как альфы и рабочие продукты, в процессе работы над проектом проходят через граф состояний. Последовательность состояний является линейной, каждое состояние либо является конечным, либо имеет следующее за ним. Однако, существуют различные артефакты проекта, которые не могут подчиняться такому жизненному циклу с точки зрения семантики:

1. Артефакты, требующие наличия разветвлений в графе состояний. В качестве примера такого артефакта можно назвать антипаттерн – распространенное неэффективное решение типичной проблемы проектирования и/или реализации [2]. В случае, если урон от наличия антипаттерна в системе не превышает затрат на его устранение, антипаттерн может остаться неисправленным, то есть не дойти до финального состояния.

2. Артефакты, требующие полного устранения. Примером такого артефакта является баг (ошибка). Баги программного обеспечения необходимо устранить, дальнейшая работа с соответствующими багам артефактами не требуется.

3. Артефакты, необходимые на протяжении всего жизненного цикла проекта. В качестве примера могут выступать различные артефакты аналитики, например, глоссарий, который должен быть актуален всегда и не может быть удален.

4. Артефакты с различными вариантами развития жизненного цикла. Примером такого артефакта является вариант использования: в некоторых ситуациях вариант использования может быть признан неактуальным на этапе проектирования, тогда он остановится на начальном состоянии. В стандартной ситуации данный артефакт будет развиваться на всем протяжении жизненного цикла системы. Но возможны случаи, когда при обновлении будет принято решение полностью удалить вариант использования из системы.

Текущее правило описания состояния артефактов проекта не учитывает данную проблему. При этом, необходимо отметить, что в описании использования стандарта Essence для водопадной модели управления проектами некоторые альфы (например, Team) имеют циклический граф состояний. Такое допущение позволяет учитывать особенность водопадной модели, при которой команда может быть полностью заменена на каждой новой фазе разработки.

Также, стандарт Essence содержит следующее противоречие: глоссарий стандарта (Terms and Definitions) [1, с. 4] явно указывает на возможность наличия нескольких конечных состояний сущностей, тогда как в описании языка Essence [1, с. 88] связь между состояниями исключительно линейная.

Подводя итог всему вышесказанному, можно явно сказать, что вопрос о модели жизненного цикла артефактов в стандарте OMG Essence не учтен и требует дальнейшего изучения и доработки.

Литература

- Essence – Kernel and Language for Software Engineering Methods Ver 1.2: Specification* [Электронный ресурс] // Object Management Group, 2018. – URL: <https://www.omg.org/spec/Essence/1.2/PDF> (дата обращения: 06.06.2022).
- Brown W.J., Malveau R.C., McCormic T.J. III, Mowbray T.J. AntiPatterns: Refactoring Software, Architectures and Projects in Crisis.* – New York: John Wiley & Sons, 1998.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ MPI НА БАЗЕ РАЗДЕЛЯЕМОЙ ПАМЯТИ*

А.А. Романюта¹, М.Г. Курносов^{1, 2}

¹Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
alexey_r.98@ngs.ru, mkurnosov@sibsutis.ru

SHARED MEMORY BASED IMPLEMENTATION OF COLLECTIVE MPI OPERATIONS

A.A. Romanyuta¹, M.G. Kurnosov^{1, 2}

¹Siberian State University of Telecommunications And Information Science, Novosibirsk, Russia

²Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

В параллельных вычислениях процессы обмениваются сообщениями через коммуникационную сеть (InfiniBand, 10X Gigabit Ethernet, Slingshot). Для разработки параллельных программ широко используется стандарт MPI [1] и библиотеки, реализующие его (MPICH, MVAPICH, Open MPI [2]). В пределах одного узла, процессы могут использовать для передачи сообщений разделяемую память. Поэтому, для оптимизации обменов между процессами, используется двухуровневая иерархия коммуникационной среды, когда обмен сообщениями между ядрами узла может выполняться через разделяемую память и только для межузловых взаимодействий используется коммуникационная сеть. Среди алгоритмов обмена сообщениями, коллективные операции, в которых принимают участие все или значительная часть процессов, выделяют как наиболее ресурсоёмкие. Создание эффективных алгоритмов реализации таких обменов значительно влияет на производительность и масштабирование параллельных программ. В работе рассматриваются алгоритмы реализации коллективных операций стандарта MPI Scatterv, Gatherv, Allgatherv через разделяемую память вычислительного узла. Далее приведены прототипы операций:

```
MPI_Scatterv(sbuf[p], scounts[p], displs[p], stype,  
            rbuf, rcount, rtype, root)  
MPI_Gatherv(sbuf, scount, stype, rbuf[p], rcounts[p], displs[p],  
            rtype, root)  
MPI_Allgatherv(sbuf, scount, stype,  
              rbuf[p], rcounts[p], displs[p], rtype)
```

При разработке алгоритмов, основную сложность представляет нерегулярный размер сообщений, которые передаются в операции в виде векторов *scounts*, *rcounts* длины *p*, где *p* – число процессов.

Выделяют два подхода к реализации взаимодействия процессов через разделяемую память. Первый подход использует сегмент памяти с общей для всех процессов очередью и системой флагов для уведомлений. Процесс-отправитель копирует в очередь фрагмент сообщения и уведомляет остальные процессы, после чего они копируют фрагмент в буфер пользователя в своем адресном пространстве. Такой подход подразумевает выполнение двойного копирования и получил название Copy-In-Copy-Out (CICO). Второй подход использует специфичные для конкретного ядра операционной системы методы прямого доступа к памяти удаленного процесса: Linux Cross Memory Attach (CMA), KNEM, XPMEM [3–5]. Прямое взаимодействие с памятью позволяет сократить число копирований до одного, поэтому такой подход получил название ZeroCopy. Отметим, что ZeroCopy-подход требует дополнительных модулей ядра или же повышения привилегий процессов, в то время как CICO-подход обеспечивает переносимость алгоритма на разные системы [6].

В данной работе рассматриваются алгоритмы коллективных операции MPI_Scatterv, MPI_Gatherv и MPI_Allgatherv, использующие сегмент разделяемой памяти и систему очередей в нём. Приводится описание реализации алгоритмов на базе библиотеки Open MPI. Проведен экспериментальный анализ работы алгоритмов.

Литература

1. *MPI: A Message-Passing Interface Standard Version 4.0* [Электронный ресурс]. – Knoxville: University of Tennessee, 2021 – URL: <https://www.mpi-forum.org/docs/mpi-4.0/mpi40-report.pdf> (дата обращения: 05.08.2022).
2. *Open MPI: Open Source High Performance Computing* [Электронный ресурс]. – The Open MPI Project, 2022. – URL: <https://www.open-mpi.org>. (дата обращения: 05.08.2022).
3. *KNEM High-Performance Intra-Node MPI Communication* [Электронный ресурс]. – INRIA, 2022. – URL: <https://knem.gitlabpages.inria.fr> (дата обращения: 05.08.2022).
4. *XPMEM: Linux Cross-Memory Attach* [Электронный ресурс] // GitHub. – San Francisco: GitHub, Inc., 2022. – URL: <https://github.com/hjelmn/xpmem> (дата обращения: 05.08.2022).
5. *CMA: Cross Memory Attach* [Электронный ресурс] // The Linux Weekly News. – Boulder: Eklektix, Inc., 2022 – URL: <https://lwn.net/Articles/405284/> (дата обращения: 05.08.2022).
6. *Курносов М.Г., Токмашева Е.И.* Алгоритм широковещательной передачи стандарта MPI на базе разделяемой памяти многопроцессорных NUMA-узлов // Вестник СибГУТИ. – 2020. – № 1 (49). – С. 42–59.

* Работа выполнена в рамках Государственного задания №071-03-2022-001.

ПРИМЕНЕНИЕ ФРЕЙМВОРКА TENSORFLOW ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ*

Н.А. Матолыгина¹, М.Л. Громов¹, А.К. Матолыгин¹, С.Н. Торгаев^{1,2}

¹ Томский государственный университет, Томск, Россия

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

USING THE TENSORFLOW FRAMEWORK FOR THE IMPLEMENTATION OF CELLULAR AUTOMATA

N.A. Matolygina¹, M.L. Gromov¹, A.K. Matolygin¹, S.N. Torgaev^{1,2}

¹ Tomsk state university, Tomsk, Russia

² Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

Клеточные автоматы и модели на их основе активно применяются при решении задач физики сплошных сред [1], химии [2] и др. Клеточный автомат представляет собой дискретную динамическую модель, функционирование которой происходит в n -мерном пространстве, представляющим собой множество ячеек одинаковой формы и размера, и дискретные промежутки времени, называемые тактами. Каждая ячейка модельного пространства соответствует некоторой области моделируемого физического пространства и описывается набором безразмерных характеристик.

Моделирование при помощи клеточных автоматов заключается в поиске состояний ансамбля клеток автомата по истечении заданного количества тактов работы автомата. Полученное множество состояний некоторым образом характеризует состояние исследуемого процесса или объекта (скорость потока жидкости в отдельных точках, концентрацию веществ и т.д.). Таким образом, задачу моделирования некоторого процесса или объекта клеточным автоматом можно разбить на две подзадачи. Во-первых, исследователь должен выбрать параметры автомата (размерность сетки клеток, форму клеток, тип окрестности соседей и т.д.). А во-вторых, программно реализовать поведение выбранного клеточного автомата.

Сама по себе концепция клеточного автомата достаточно простая и идея программной реализации лежит на поверхности. Однако количество требуемых вычислений и структура этих вычислений наталкивают на мысль о применении современных суперкомпьютеров, располагающих большим количеством вычислительных ядер и поддерживающих крупноблочный параллелизм. В качестве такого суперкомпьютера может выступать графическая видеокарта. Помимо того, что видеокарты доступны для широкого круга пользователей, для них существуют специальные рабочие среды (фреймворки), которые эффективно эксплуатируют многоядерность видеокарт и освобождают исследователя от необходимости самостоятельно организовывать параллельные участки программы и распределять данные между ними. Одним из таких фреймворков является TensorFlow.

Основной структурой данных фреймворка TensorFlow является тензор (многомерная матрица). Таким образом, чтобы описать процесс функционирования клеточного автомата, необходимо сам клеточный автомат представить в виде тензора, а правила перехода автомата из одного состояния в другое, представить в виде некоторых тензорных операций.

Предложенный способ программной реализации клеточных автоматов апробирован нами на некоторых клеточных автоматах и клеточно-автоматных моделях. В первую очередь, реализован самый известный клеточный автомат – Игра «Жизнь» [3, 4]. Результаты компьютерных экспериментов показали, что при одинаковых размерах и конфигурации клеточного автомата, время выполнения однопоточной реализации в четыре раза медленнее реализации на TensorFlow, что подтверждает эффективность данного способа реализации.

Кроме «простых» клеточных автоматов, предложенный способ реализации может быть применен к более сложным клеточно-автоматным моделям, при помощи которых моделируются некоторые пространственно-распределенные процессы. Так, в [5] описан опыт реализации клеточно-автоматной модели диффузии с окрестностью Марголуса. В этом случае, поворот чётных и нечётных блоков реализован не стандартными тензорными операциями TensorFlow, а пользовательской. В фреймворке имеется возможность внедрять собственные операции над тензорами на уровне манипуляции основными структурами данных (массивами), которыми представляются тензоры. Библиотеки разработчиков TensorFlow позволяют реализовывать операции над данными как программы для центрального процессора, так и как программы для графических ускорителей на языке CUDA от NVIDIA.

Таким образом, способ реализации клеточных автоматов и клеточно-автоматных моделей на графических ускорителях с применением фреймворка TensorFlow видится эффективным, что подтверждается компьютерными экспериментами, и универсальным, поскольку с его помощью могут быть реализованы как «простые» клеточные автоматы, так и модели, применяющиеся для описания реальных физических процессов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90070 Аспиранты.

Литература

1. *Медведев Ю.Г.* Трехмерная клеточно-автоматная модель потока вязкой жидкости // *Автометрия*. – 2003. – № 39 (3). – С. 43–50.
2. *Киреева А.Е., Сабельфельд К.К., Мальцева Н.В.* Трехмерная клеточно-автоматная модель электрохимического окисления углерода Ketjen Black EC-600JD // *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2019. – № 46. – С. 31–39.
3. *Gardner M.* The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life" // *Scientific American*. – 1970. – Vol. 223, № 4. – P. 120–123.
4. *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*. – 2019. – № 31 (3). – P. 217–228.
5. *Matolygin A.K., Shalyapina N.A., Gromov M.L., Torgaev S.N.* Tensor approach to software implementation of cellular automata model of diffusion // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2020. – Vol. 1680. – P. 1–6.

Секция 5. КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ И КРИПТОГРАФИЯ

ОСУЩЕСТВИМОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ГРУППОВОМ ОБСЛУЖИВАНИИ*

К.В. Павский^{1, 2}, В.А. Павский³

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

²Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия

³Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

pkv@isp.nsc.ru, pavva46@mail.ru

REALISABILITY OF SOLVING PROBLEMS ON COMPUTER SYSTEMS WITH GROUP SERVICING

K.V. Pavsky^{1,2}, V.A. Pavsky³

¹ A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences

³ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

При решении задач на вычислительных системах (ВС) важно учитывать способность системы функционировать при отказах. Данная проблема становится особенно актуальной для масштабируемых ВС [1]. Около 93% суперкомпьютеров списка TOP 500 составляют кластерные системы, которые являются масштабируемыми [2]. Отказы в масштабируемых системах, напрямую зависят от числа вычислительных узлов [3, 4]. Например, система Fugaku (2 место в 59-й ред Top 500, июнь 2022 г.) состоит из 158976 вычислительных узлов. Поэтому важным является организация и исследование потенциальных возможностей ВС [1].

Для количественной оценки потенциальных возможностей вычислительных систем используются показатели осуществимости решения задач [1]. Эти показатели характеризуют качество работы систем с учетом надежности и параметров обслуживания поступающих задач. В зависимости от сложности задач и характера их поступления выделяют следующие режимы работы ВС: решение сложной задачи, обработка наборов задач, обслуживание потоков задач.

В докладе рассматривается математическая модель для расчета показателей осуществимости решения задач при групповом обслуживании потока задач на ВС с накопителем. Математическая модель использует методы теории массового обслуживания. При решении дифференциальных уравнений для вероятностей состояний загруженности накопителя использован аппарат производящих функций. Получены решения для оценки наполненности накопителя. Найдена функция распределения времени перехода накопителя из переполненного состояния в нормальное при групповом обслуживании потока задач. Полученные аналитические решения удобны при экспресс анализе функционирования масштабируемых вычислительных систем.

Литература

1. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – 520 с.
2. TOP500 The Lists [электронный ресурс]. – URL: <https://www.top500.org> (дата обращения 29.07.2022).
3. *Gupta S., Patel T., Engelmann C., Tiwari D.* Failures in large scale systems: long-term measurement, analysis, and implications // SC '17: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. – New-York: Association for Computing Machinery, 2017. – Art. 44. – P. 1–12.
4. *Schroeder B., Gibson G.* A Large-Scale Study of Failures in High-Performance Computing Systems // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2010. – Vol. 7, № 4. – P. 337–350.

* Работа выполнена в рамках Государственного задания № 071-03-2022-001 и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №20-07-00039).

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК В КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ КЛЮЧАХ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ, С ПОМОЩЬЮ ДРЕВОВИДНЫХ МАШИН ЧЕТНОСТИ*

Д.Е. Каширский, Ф.А. Якименко

Томский государственный университет, Томск, Россия

kde@mail.tsu.ru

CORRECTION OF ERRORS IN CRYPTOGRAPHIC KEYS OBTAINED BY QUANTUM CRYPTOGRAPHY METHODS USING TREE PARITY MACHINES

D.E. Kashirskii, Ph.A. Yakimenko

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В [1] было предложено использовать нейронные сети, а именно древовидные машины четности (ДМЧ), для исправления ошибок в криптографических ключах, полученных методами квантовой криптографии. В данной работе проводится проверка этого подхода на реальной установке квантового распределения ключей (КРК) [2].

Были получены 300 000 пар просеянных ключей (один у Алисы, другой у Боба). На рис. 1, а показана гистограмма распределения ошибок в этих криптографических ключах. Показатель QBER оказался лежащим примерно в интервале значений от 0 до 11% со средним арифметическим значением 4,6%.

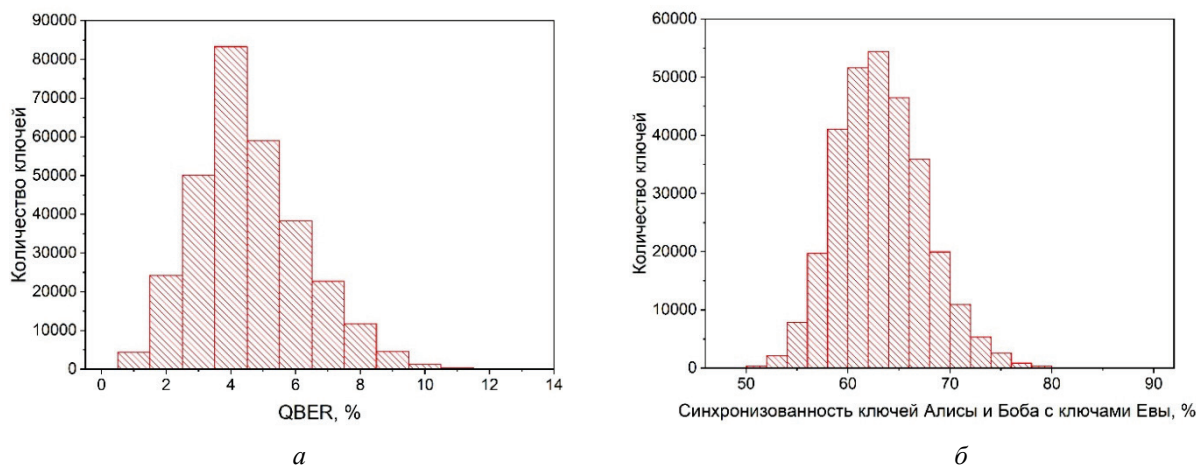


Рис. 1. Гистограммы распределения ошибок в ключах Алисы и Боба (а) и синхронизованности ключей Евы с ключами Алисы и Боба (б)

Ключи, полученные от системы КРК, практически идентичны между собой, поэтому процесс синхронизации ДМЧ Алисы и Боба происходит быстрее, чем процесс синхронизации ДМЧ Евы, совершающей атаку, поэтому вероятность синхронизации ДМЧ Евы с ДМЧ Алисы и Боба стремится к нулю. На рисунке 1б представлено распределение синхронизованности ключей Евы с ключами Алисы и Боба. Как можно заметить, во всех случаях Ева не смогла получить ключ, идентичный ключу Алисы и Боба. Среднее арифметическое значение параметра синхронизованности составило 63,2 %. Вследствие наличия случаев с высоким процентом синхронизованности, необходимо применять дополнительные процедуры для усиления секретности получаемых криптографических ключей.

Литература

1. Niemiec M. Error correction in quantum cryptography based on artificial neural networks // Quantum Information Processing. – 2019. – Vol. 18. – Art. 174.
2. 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.

* Работа выполнена в рамках программы развития Томского государственного университета (Приоритет 2030), проект № 2.4.6.22 ИГ.

МАСШТАБИРУЕМАЯ СПУТНИКОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ КУБСАТА

*А.В. Дуплинский^{1,6}, А.В. Хмелев^{1,5}, В.Е. Мерзлинкин^{1,7}, Л.В. Письменюк¹, Р.М. Бахшалиев¹,
К.В. Тихонова¹, И.С. Нестеров¹, В.Л. Курочкин^{1,3,4}, Ю.В. Курочкин^{1,2,3,4,5}*

¹КуСпейс Технологии, Москва, Россия

²КуРейт, Москва, Россия

⁴Центр квантовых коммуникаций НТИ, НИТУ МИСиС, Москва, Россия

⁴Российский квантовый центр, Москва, Россия

⁵МФТИ, Долгопрудный, Россия

⁶ВШЭ, Москва, Россия

⁷НИТУ МИСиС, Москва, Россия

al.duplinsky@goqrate.com

CUBESAT BASED SCALABLE QUANTUM KEY DISTRIBUTION SATELLITE NETWORK

*A.V. Duplinsky^{1,6}, A.V. Khmelev^{1,5}, V.E. Merzlinkin^{1,7}, L.V. Pismeniuk¹, R.M. Bakhshaliev¹,
K.V. Tikhonova¹, I.S. Nesterov¹, V.L. Kurochkin^{1,3,4} and Y.V. Kurochkin^{1,2,3,4,5}*

¹QSpace Technologies, Moscow, Russia

²QRate, Moscow, Russia

³NTI Center for Quantum Communications, National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

⁴Russian Quantum Center, Moscow, Russia

⁵Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russia

⁶HSE University, Moscow, Russia

⁷National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

Большинство систем квантового распределения ключей (КРК) использует для передачи фотоны, вследствие чего для распределения ключа зачастую используется оптическое волокно. Однако такой вид канала накладывает физические ограничения на масштабируемость таких систем. Из-за затухания сигнала в волокне практическое применение волоконных систем КРК ограничено сотнями километров [1].

Реализация спутниковой системы квантового распределения ключей позволяет расширить границы использования существующих волоконных систем КРК [2]. Помимо возможности развёртывания каналов КРК до масштабов Земли без использования большого количества доверенных узлов, спутниковая технология позволит распространить КРК на объекты, подключение к которым оптического волокна невозможно либо нерационально [3].

Ранее нами уже были описаны шаги по созданию квантовой сети на основе разработанных стационарных приёмных станций для спутникового КРК [4], результаты тестов и экспериментальных измерений [5] показали работоспособность модулей и легли в основу разработки миниатюрной мобильной приёмной станции, а также основополагающего элемента планируемой сети – сверхмалого спутника формата кубсат для КРК с Землей.

В докладе изложена концепция построения масштабируемой спутниковой сети для квантового распределения ключей с использованием стационарной приёмной станции, мобильной приёмной станции на основе телескопа с апертурой 300 мм и наноспутника в качестве передающего доверенного узла. Представлены принципы разработки, описаны приёмные и передающие элементы сети.

Литература

1. Wang S. [et al.]. Twin-field quantum key distribution over 830-km fibre // Nature Photonics. – 2022. – Vol. 16, №. 2. – P. 154–161.
2. Chen Y. A. [et al.]. An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres // Nature. – 2021. – Vol. 589, № 7841. – P. 214–219.
3. Liu H. Y. [et al.]. Drone-based entanglement distribution towards mobile quantum networks // National science review. – 2020. – Vol. 7, №. 5. – P. 921–928.
4. Kurochkin V. L. [et al.]. Elements of satellite quantum network // International Conference on Micro-and Nano-Electronics 2021. – SPIE, 2022. – Vol. 12157. – P. 492–499.
5. Khmelev A. V. [et al.]. Recording of a Single-Photon Signal from Low-Flying Satellites for Satellite Quantum Key Distribution // Technical Physics Letters. – 2021. – Vol. 47, №. 12. – P. 858–861.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОСТЕЙШИХ АЛГОРИТМОВ КВАНТОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ*

М.А. Олейник

¹ Томский государственный университет, Томск, Россия
marinamoro149@gmail.com

IMPLEMENTATION OF THE SIMPLE ALGORITHMS FOR QUANTUM IMAGE PROCESSING

D.I. Oleinik

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В настоящее время квантовые вычисления являются интенсивно развивающимся направлением в науке. Это обусловлено тем, что квантовые вычисления не имеют себе равных среди их традиционных аналогов в таких областях, как скорость вычислений, защита от неразрешённого доступа и минимальные требования к объёму данных [1]. Одним из перспективных направлений в области квантовых вычислений является обработка изображений. Квантовая обработка изображений фокусируется на квантовых алгоритмах хранения, обработки и извлечения визуальной информации. Квантовую обработку изображений можно разделить на три основные группы: цифровая обработка изображений с квантовой поддержкой; квантовая визуализация на основе оптики, и классическая квантовая обработка изображений.

Реализация квантовых алгоритмов осуществлялась с использованием систем симуляции IBM Quantum Experience [2] и Quirk [3]. На рис. 1 представлены тестовое изображение и квантовая схема его реализации. В представленной схеме, кубиты $q[1]$ и $q[2]$ определяют номер столбца, кубиты $q[3]$ и $q[4]$ определяют номер строки, а кубит $q[0]$ определяет цвет соответствующего пикселя

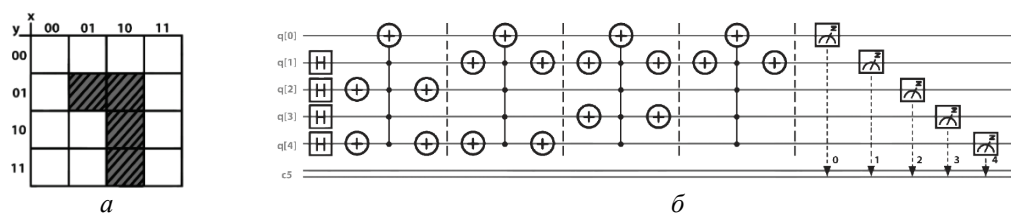


Рис. 1. Тестовое изображение (а) и квантовая схема (б)

В ходе проведения модельных исследований были реализованы влияния различных квантовых гейтов (NOT и SWAP) на тестовое изображение. После разработки схем поворотов осуществлялась симуляция работы квантового компьютера с последующими измерениями вероятностей состояний. На рисунке 2 представлены результаты обработки изображений с использованием симуляторов квантового компьютера.

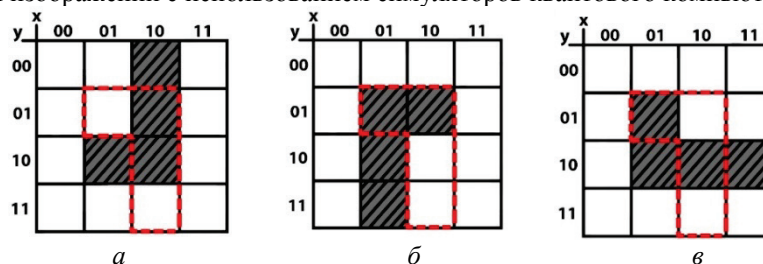


Рис. 2. Результаты влияния квантовых гейтов на изображение: а – результат поворота изображения относительно оси Y ; б – результат поворота изображения относительно оси X ; в – результат поворота изображения относительно оси Z

Таким образом, в данной работе были реализованы три квантовых алгоритма поворота изображения относительно осей X , Y и Z . Для тестового изображения была разработана схема оракула к которой применялись соответствующие гейты поворотов. Следует отметить, что градация серого может быть обеспечена за счет перевода кубита $q[0]$ в состояние суперпозиции. Преимущества представления изображений в квантовой системе включают возможность ускорить любую обработку изображений.

Литература

1. Fei Yan, Salvador E. Venegas-Andraca. Quantum Image Processing. – Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2020. – 171 p.
2. IBM Quantum Composer [Электронный ресурс]. – Armonk: IBM, 2022. – URL: <https://quantumcomputing.ibm.com/composer/new-experiment> (дата обращения: 02.05.2022).
3. Gidney C. Quirk: Quantum Circuit Simulator [Электронный ресурс] // Algorithmic Assertions. – URL: <https://algassert.com/quirk> (дата обращения: 02.05.2022).

* Работа выполнена в рамках программы развития Томского государственного университета (Приоритет 2030), проект № 2.0.6.22 ЛМУ.

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ*

С.Н. Торгаев¹, Д.Е. Каширский¹, М.Л. Громов¹, Л.Г. Евтушенко²

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Высшая школа экономики, Москва, Россия

torgaev@mail.tsu.ru

IMPLEMENTATION OF A TELECOMMUNICATION SYSTEM BASED ON QUANTUM CRYPTOGRAPHY METHODS

S.N. Torgaev¹, D.E. Kashirskii¹, M.L. Gromov¹, L.G. Yevtushenko²

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Higher School of Economics, Moscow, Russia

Существующие на сегодняшний день системы квантовой коммуникации, как правило, имеют модульный принцип построения, т.е. существуют отдельные реализации систем квантового распределения ключей, шифрования и приема-передачи данных. В данной работе представлены результаты разработки телекоммуникационной системы, построенной с использованием принципов квантового шифрования, в рамках единого устройства. Для реализации подобного устройства предлагается использовать систему на кристалле ПЛИС [1]. Преимуществом такой технологии является возможность реализации как аппаратных решений, так и программной обработки в рамках одного кристалла.

Для осуществления квантового распределения ключей предполагается использовать двухпроходную оптоволоконную схему “Plug & Play”, реализующую протокол BB84 [2]. Управление работой активных оптоволоконных компонентов схемы (лазер, фазовый модулятор, детектор одиночных фотонов) осуществляется с помощью ПЛИС, а управление установкой и обработка криптографических ключей производится с помощью программного обеспечения для операционной системы семейства Linux, что становится возможным благодаря наличию процессора, размещенного на кристалле ПЛИС. Благодаря этому можно сделать систему более компактной и дешевой за счет, например, отсутствия в необходимости использования персональных компьютеров, дополнительного оборудования и платного программного обеспечения как в [3].

Распределенные криптографические ключи будут использоваться для аппаратного шифрования передаваемых по сети данных на том же ПЛИС. Алгоритм шифрования данных будет построен согласно ГОСТ Р 34.12-2015 и ГОСТ Р 34.13-2015.

Литература

1. *Тарасов И.* Применение ПЛИС класса «система на кристалле» Xilinx Zynq и подходы к проектированию на основе языков описания аппаратуры высокого уровня // *Электроника НТБ.* – 2019. – № 4. – С. 62–66. – DOI: 10.22184/1992-4178.2019.185.4.62.66.
2. *Баумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А.* Физика квантовой информации. – М.: Постмаркет, 2002. – 376 с.
3. *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.

* Работа выполнена в рамках программы развития Томского государственного университета (Приоритет 2030), проект № 2.4.6.22 ИГ.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТОМ УСТАНОВКИ КВАНТОВОЙ СВЯЗИ

С.Н. Торгаев, Д.Е. Каширский, М.Л. Громов, А.Е. Иванов

Томский государственный университет, Томск, Россия
torgaev@mail.tsu.ru

DEVELOPMENT OF SOFTWARE TO CONTROL THE LAYOUT OF A QUANTUM COMMUNICATION INSTALLATION

S.N. Torgaev, D.E. Kashirskii, M.L. Gromov, A.E. Ivanov

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В настоящее время в России существует ряд программно-аппаратных решений по построению систем квантового распределения ключа. Одним из ярких представителей являются установки компании QRate [1]. В них используются технологии компании National Instruments, что с одной стороны делает ее более гибкой с точки зрения внесения изменений в программное обеспечение, а с другой стороны сильно удорожает и делает менее компактной, т.к. требуется помимо приемо-передающих блоков еще и наличия двух персональных компьютеров для их настройки и управления.

Одним из решений для исключения вышеизложенных недостатков может быть применение однокристалльной технологии SOC (System-on-a-Chip). Преимуществом подобной технологии является возможность реализации как аппаратных решений, так и программной обработки в рамках одного кристалла.

В нашей работе мы представляем результаты разработки программы настройки и управления системой квантового распределения ключа. Программное обеспечение реализовано для использования в операционной системе Ubuntu 20.04 LTS, работающей на процессоре Cortex-A53 с архитектурой Armv8-A.

Разработанное программное обеспечение является единым как для Боба, так и для Алисы. На рис. 1 представлен пример интерфейса программы, в частности, модуля поиска времени задержки начала считывания данных с детектора одиночных фотонов.

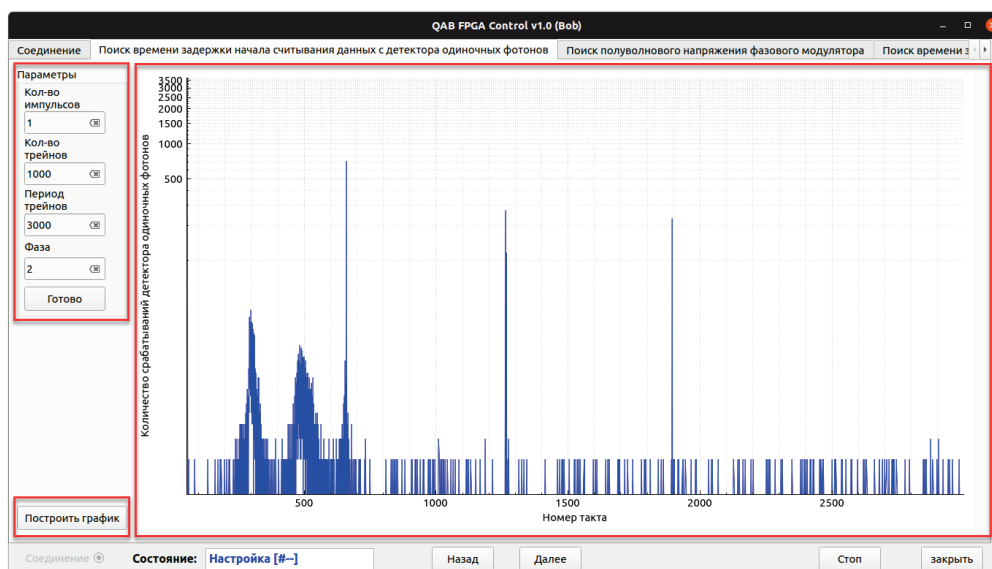


Рис. 1. Окно модуля «Поиск времени задержки начала считывания данных с детектора одиночных фотонов» программы QAB FPGA Control v1.0 (Bob)

В ходе разработки было создано программное обеспечение для управления макетом установки квантовой связи, позволяющее осуществлять запуск и настройку по более простому алгоритму, в отличие от системы управления, взятой за основу данной работы. Главной особенностью разработки является построение программного обеспечения на однокристалльной технологии SoC, что позволяет улучшить такие параметры установки как стоимость, масса-габаритные параметры, а также практичность и мобильность решения.

В ходе исследования темы и разработки программного обеспечения были сделаны выводы, что существует необходимость в дальнейшем совершенствовании разработанной системы управления добавлением функции для автоматической настройки установки, а также функции-помощника для повышения удобства ручной настройки.

Литература

1. 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.

Секция 6. ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ПЕРЕГОНАХ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

А.В. Паушков

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), г. Москва, Россия
art_pash@mail.ru

SYNTHESIS OF TRAIN TRAFFIC CONTROL DEVICES BASED ON FPGA

A.V. Pashukov

Russian university of transport (MIIT), Moscow, Russia

Задача синтеза устройств и систем управления для объектов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) рассматривалась в ограниченном количестве работ. Например, в работе [1], есть небольшой обзор на эту тему. Одной из важных проблем, которые сопутствуют решению данной задачи, является реализация помехозащищенных устройств, отвечающих высоким требованиям по надежности и безопасности [2].

В данной работе рассмотрен вопрос синтеза устройства управления перегонными объектами ЖАТ (рис. 1). Система взаимодействия светофоров при проследовании поезда реализуется на ПЛИС с описанием логических условий функционирования перегонных систем ЖАТ в виде конечных автоматов с кодированием данных помехозащищенными взвешенными кодами с суммированием (рис. 2) [3, 4].

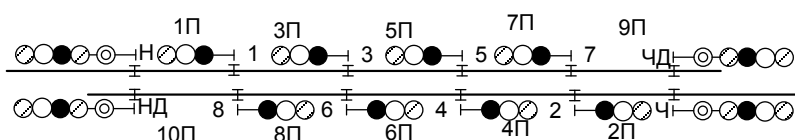


Рис. 1. Схематический план перегона с трехзначной сигнализацией

На рис. 2 в качестве входных переменных выступают устройства, отслеживающие нахождение поезда (путевые приемники или их аналоги), а в качестве выходных переменных – состояние напольного оборудования, в данном случае состояния проходных светофоров. В конечном результате входной вектор имеет вид $X_i = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9 \rangle$, где x_1 – направление движения на перегоне (0 – четное, 1 – нечетное); x_2, x_3, x_4, x_5 – занятость блок-участков 2П, 4П, 6П и 8П соответственно (0 – занят, 1 – свободен); x_6, x_7, x_8, x_9 – контроль красного показания светофоров 2, 4, 6 и 8 соответственно (0 – не исправно, 1 – исправно). Выходной вектор имеет вид $Z_i = \langle z_1, z_2, z_3, z_4 \rangle$ где z_1, z_2, z_3, z_4 – состояние светофоров 2, 4, 6 и 8 соответственно (00 – закрыт, 01 – открыт, 10 – погашен). При проектировании конечных автоматов на ПЛИС необходимо исключить возникновение опасных отказов и критических состязаний [2]. Для этого эффективно применены взвешенные коды с суммированием [3, 4]. С помощью изменения весовых коэффициентов и модуля кода можно подобрать нужные параметры обнаружения неисправностей различных кратностей.

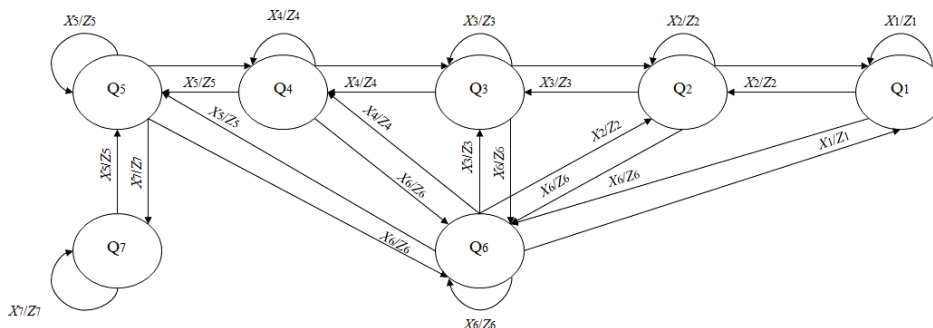


Рис. 2. Граф переходов системы управления движением поездов на перегоне

Отметим, что применение взвешенных кодов не приводит к резкому увеличению избыточности, что позволяет их эффективно применять не только для устройств, реализованных на ПЛИС, но и для любых типов устройств, имеющих в основе элементы программируемой логики. В работе сформирован алгоритм синтеза устройств управления объектами ЖАТ с учетом специфики их функционирования, а также проведены исследования по возможностям реализации самоконтролируемых помехозащищенных конечных автоматов.

Литература

1. Ефанов Д.В., Папуков А.В. Синтез устройств управления напольным технологическим оборудованием железнодорожной автоматики с обнаружением неисправностей на программируемых логических интегральных схемах // Транспорт Урала. – 2022. – № 2. – С. 31–41. – DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-31-41
2. Сапожников Вл.В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. – М.: Наука, 2021, 229 с.
3. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Коды с суммированием для систем технического диагностирования. Том 1: Классические коды Бергера и их модификации: монография. – М.: Наука, 2020. – 383 с.
4. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Коды с суммированием для систем технического диагностирования. Т. 2: Взвешенные коды с суммированием: монография. – М.: Наука, 2021. – 455 с.

ПРОВЕРКА РАЗРЕШИМОСТИ УРАВНЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО КОНКАТЕНАЦИИ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТОВ С ТАЙМАУТАМИ

Е.В. Широкова¹, Н.В. Евтушенко²

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН, Москва, Россия
k@shir.su, nyevtush@gmail.com

CHECKING THE SOLVABILITY OF EQUATIONS OVER THE CONCATENATION FOR AUTOMATA WITH TIMEOUTS

E. V. Shirokova¹, N. V. Yevtushenko²

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Ivannikov Institute for System Programming of RAS, Moscow, Russia

В настоящее время все больше и больше услуг предоставляется с использованием сети Интернет. Веб-сервис [1] является программной системой, разработанной для поддержки взаимодействия между поставщиком услуг и пользователем. Одной из важных задач при создании веб-сервиса является проверка наличия уязвимостей к различным атакам. В данной работе под атаками на веб-сервис понимается осуществление действий, направленных на несанкционированный доступ к данным, их модификацию и так далее. Некоммерческий фонд OWASP [2] предоставляет список наиболее популярных атак на веб-сервисы, таких как инъекции (например, SQL-инъекции); ошибка аутентификации; раскрытие конфиденциальных данных; XSS-атаки (межсайтовый скриптинг); неверные настройки безопасности и т.д. Атаки на веб-сервис могут быть инсценированы путем генерации неверных входных данных. Такую реализацию атак можно рассматривать как проверку на робастность исследуемой системы: получив неверные данные, система должна оставаться работоспособной и не должна компрометировать пользовательские данные как внутри системы, так и вне ее [3].

Авторы [4] показывают, что обнаружение уязвимостей веб-сервисов может быть выполнено путем решения полуавтоматных уравнений относительно операции конкатенации. Пересечение полуавтомата, представляющего множество возможных действий веб-сервиса, с полуавтоматом, представляющим шаблоны атак, позволяет сделать вывод, могут ли некоторые атаки быть успешными. Если такое пересечение не пусто, то можно рассмотреть одно из следующих полуавтоматных уравнений относительно операции конкатенации: 1) $A.X \approx S$, 2) $X.B \approx S$, 3) $X.Y \approx S$. В этих уравнениях полуавтомат S соответствует описанному выше пересечению, т.е. S соответствует множеству небезопасных запросов веб-сервиса, а решение уравнения соответствует возможным вредоносным действиям пользователя. Необходимо отметить, что полученное решение может быть использовано для очистки входных данных от вредоносного содержимого. Проблема решения уравнений вида 1) и 2) обсуждается в [3, 5], где предлагаются формулы для нахождения наибольшего решения соответствующих уравнений.

В ряде случаев, когда множество пользовательских входных воздействий может привести к атакам, возникает необходимость учитывать временные аспекты. Таким образом, возникает задача решения уравнений для полуавтоматов с таймаутами относительно операции конкатенации. В настоящей работе определяется композиция полуавтоматов с таймаутами относительно конкатенации, и предлагаются два подхода для решения соответствующих уравнений. Первый подход заключается в выделении подавтоматов полуавтомата S , являющихся решениями соответствующего уравнения. Второй подход основан на решении соответствующих уравнений над конечно-автоматными абстракциями с использованием результатов из [3, 5].

Дальнейшая работа заключается в оценке сложности предложенных подходов, а также в применении предлагаемых подходов для проверки наличия уязвимостей в реализациях реальных веб-сервисов.

Литература

1. *Web Services Activity* [Электронный ресурс] // World Wide Web Consortium. – Cambridge : W3C, Inc., 2002. – URL: <https://www.w3.org/2002/ws/> (дата обращения: 02.07.2022).

2. OWASP Top Ten [Электронный ресурс] // OWASP. – Annapolis: OWASP Foundation, Inc., 2022. – URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/> (дата обращения: 02.07.2022).
3. Kolomeets A., Shirokova E., Gromov M., Yevtushenko N. Checking Robustness of Web Services based on Solving Automata Equations // 2021 IEEE 22nd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) – New-York : IEEE, 2021. – P. 499–502. – DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507669.
4. Yu F., Alkhalaf M., Bultan T. Generating vulnerability signatures for string manipulating programs using automata-based forward and backward symbolic analyses [Электронный ресурс] // UC Santa Barbara Computer Science. Tech Reports. – Santa Barbara : University of California, 2009. – Report ID 2009-11. – 12 p. – URL: <https://www.cs.ucsb.edu/sites/default/files/documents/2009-11.pdf>.
5. Kari L. On language equations with invertible operations // Theoret. Comput. Sci. – 1994. – Vol. 132. – P. 129–150.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ИЗБЫТОЧНОГО СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ DART-РЕАЛИЗАЦИИ SMTP-КЛИЕНТА С СЕРВЕРОМ

*А.П. Сотников, Н.В. Шабалдина, М.Л. Громов, С.А. Прокопенко,
А.С. Твардовский*

Томский государственный университет, Томск, Россия
sotnikhtc@gmail.com

REDUNDANT INTERACTION EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF THE DART-IMPLEMENTATION OF THE SMTP CLIENT WITH THE SERVER

A.P. Sotnikov, N.V. Shabaldina, M.L. Gromov, S.A. Prokopenko, A.S. Tvardovskii

Tomsk State University, Tomsk, Russia

При совместной работе клиентской и серверной реализаций протоколов возникают ситуации, когда клиент осуществляет избыточные запросы к серверу, в то время как и без этих запросов ответ клиента конечному пользователю предопределен. Такая предопределенность может быть обусловлена как требованиями RFC, так и, в некоторых случаях, накопленной к этому этапу взаимодействия информацией, например, о настройках сервера или о реализованных на сервере опциях.

В данной работе описан проведенный эксперимент по выявлению избыточного сетевого взаимодействия Dart-реализации SMTP-клиента [1] со специально написанной программой-сервером, частично имитирующей работу SMTP-сервера согласно спецификации [2]. Под лишним сетевым взаимодействием здесь понимается такое взаимодействие, которого можно избежать полностью, так как клиент к настоящему моменту уже накопил определенную информацию и может самостоятельно анализировать данные перед отправкой запроса на сервер.

В ходе проведения эксперимента выявлены два случая избыточного сетевого взаимодействия.

Первый случай такого взаимодействия обнаружен при попытке клиента аутентифицироваться на сервере с неподдерживаемым типом аутентификации. Согласно RFC-спецификации SMTP-протокола [2], перед отправкой команды AUTH на сервер, клиент отправляет команду EHLO, в ответ на которую от сервера приходит информация о том, какие типы аутентификации сервер поддерживает. Таким образом, на этапе отправки команды AUTH клиент имеет всю необходимую информацию для того, чтобы определить, является ли запрос корректным. Для проверки наличия сетевого взаимодействия в этом случае был написан специальный юнит-тест, в котором после получения ответа на команду EHLO клиент отправляет запрос на аутентификацию с типом, который не поддерживается сервером. Для обнаружения сетевого взаимодействия в исходный код клиента было добавлено фиксирование всех исходящих к серверу сетевых запросов. Эксперимент показал, что, имея информацию о поддерживаемых на сервере типах аутентификации, клиент все равно осуществляет сетевое взаимодействие с заведомо неподдерживаемым типом аутентификации.

Второй случай избыточного взаимодействия обнаружен при проверке сценария отправки письма с пустым списком получателей. В этом случае на стороне клиента сработала проверка на пустоту списка получателей. Сетевого взаимодействия между клиентом и сервером не было, клиент выдал исключение, предупреждающее о пустом списке получателей. Также в рамках данного сценария был проверен случай, в котором список получателей задавался непустым, однако адреса получателей оставались пустыми строками нулевой длины. Здесь стоит уточнить, что такая возможность связана с деталями реализации – получатель представлен классом, имеющим несколько полей: имя, фамилия и почтовый адрес; то есть создается объект получателя, у которого все строки остаются пустыми, этот получатель добавляется в список получателей и ему отправляется письмо. Такое письмо проходит проверку на стороне клиента и со стороны клиента отправляется запрос на сервер.

Экспериментальные результаты показали, что рассматриваемая клиентская реализация не накапливает информации о предыдущем сетевом взаимодействии, что, соответственно, не позволяет избежать избыточного сетевого взаимодействия клиентской и серверной частей. В дальнейшем планируется формализовать выявление лишнего сетевого взаимодействия путем анализа формальных моделей.

Литература

1. *J. Klensin*. Simple Mail Transfer Protocol [Электронный ресурс] // RFC Editor. – URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5321.html> (дата обращения: 06.07.2022).
2. *enough_mail 2.1.1*. IMAP, POP3 and SMTP clients for Dart and Flutter email developers [Электронный ресурс] // pub.dev. The official package repository for Dart and Flutter apps. – URL: https://pub.dev/packages/enough_mail (дата обращения: 06.07.2022).

ПРОВЕРКА СВОЙСТВА РЕАКТИВНОСТИ В DART-РЕАЛИЗАЦИИ SMTP-КЛИЕНТА

А.П. Сотников, М.Л. Громов, С.А. Прокопенко, Н.В. Шабалдина

Томский государственный университет, Томск, Россия
sotnikhtc@gmail.com

CHECKING INPUT-OUTPUT BEHAVIOUR OF THE SMTP-CLIENT DART IMPLEMENTATION

A.P. Sotnikov, M.L. Gromov, S.A. Prokopenko, N.V. Shabaldina

Tomsk State University, Tomsk, Russia

При работе клиент-серверных приложений в некоторых случаях важным является сохранение свойства реактивности, которое подразумевает, что следующий запрос от клиента к серверу отправляется после того, как клиент получил ответ на предыдущий запрос. Например, в SMTP протоколе [1] необходимо дождаться ответа на команду (запрос) EHLO перед тем, как продолжать взаимодействие с сервером. Это связано с тем, что сервер в ответе на данную команду указывает поддерживаемые им механизмы аутентификации и прочую информацию, которая нужна для организации дальнейшего взаимодействия. Кроме того, сохранение взаимодействующими реализациями свойства реактивности позволяет описать их поведение (в том числе, совместное) при помощи модели с конечным числом переходов, например, конечного автомата [2], что может быть полезно для анализа системы и синтеза тестов.

В данной работе мы проверяем сохранение свойства реактивности в Dart-реализации клиентской части SMTP. В языке Dart есть механизм асинхронного выполнения функций, необходимый, например, для работы графического интерфейса без блокирования элементов интерфейса. Асинхронные функции присутствуют практически в любой реализации клиентской части, и при некорректном их использовании могут привести к нарушению свойства реактивности при взаимодействии с сервером. Поэтому актуальным является наличие в клиентской реализации проверки, что свойство реактивности не нарушается. Убедиться в том, что такая проверка осуществляется, можно с помощью юнит-теста, в котором команды вызываются без ключевого слова `await` или использования метода `.then`. Отсутствие `await` и `.then` как раз позволяет смоделировать ситуацию нарушения свойства реактивности за счет того, что следующая команда юнит-теста отправляется без ожидания ответа на предыдущую команду.

В качестве исследуемой программы для эксперимента по проверке свойства реактивности была выбрана Dart-реализация клиентской части SMTP из работы [3]. Написана программа-сервер, отвечающая на запросы клиента с фиксированной задержкой, что имитирует работу реальной сети. План эксперимента следующий. Используем экземпляр класса клиента SMTP. С помощью вызовов методов этого класса добьемся того, чтобы на сервер была отправлена последовательность команд, в которой очередная команда должна по-хорошему подаваться в зависимости от ответа сервера на предыдущую команду. Методы будем вызывать без использования ключевого слова `await` или использования метода `.then`. Если на очередной вызов метода до прихода ответа на предыдущие команды клиент ответит отказом (выбросит исключение или вернёт ошибку), то рассматриваемая реализация клиентской части следит за сохранением реактивности, иначе нет.

В эксперименте была выбрана следующая последовательность. Клиент сначала посылает на сервер команду EHLO. Напомним, что ответ на эту команду содержит, в том числе, поддерживаемые сервером механизмы аутентификации. Далее клиент пытается аутентифицироваться на сервере, указывая неподдерживаемый сервером механизм аутентификации, после чего посылает запрос на отправку письма. Подчеркнем, что в юнит-тесте все команды клиента намеренно отправлялись одна за другой (без анализа ответов сервера). Сервер ответил ошибкой на попытку аутентификации с неподдерживаемым механизмом, но к

этому времени уже была отправлена следующая команда; то есть все команды успешно отправились на сервер, но на самом деле клиент не прошёл аутентификацию, и письмо не было отправлено. Таким образом, Dart-реализация [3] не содержит проверки сохранения свойства реактивности. В дальнейшем планируется формализовать проверку свойства реактивности с использованием моделей с конечным числом переходов.

Литература

1. *J. Klensin*. Simple Mail Transfer Protocol [Электронный ресурс] // RFC Editor. – URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5321.html> (дата обращения: 06.07.2022).
2. *Евтушенко Н.В., Петренко А.Ф., Ветрова М.В.* Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 1. Отношения и операции: учеб. пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 142 с.
3. *enough_mail 2.1.1*. IMAP, POP3 and SMTP clients for Dart and Flutter email developers [Электронный ресурс] // pub.dev. The official package repository for Dart and Flutter apps. – URL: https://pub.dev/packages/enough_mail (дата обращения: 06.07.2022).

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ROBDD-ГРАФА, ПРЕДСТАВЛЯЮЩЕГО МНОЖЕСТВО ВСЕХ ДОСТИЖИМЫХ РЕАКЦИЙ КОМБИНАЦИОННОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

В.А. Провкин, А.Ю. Матросова

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

ALGORITHM OF BUILDING A ROBDD GRAPH REPRESENTING THE SET OF ALL REACHEABLE REACTIONS OF A COMBINATIONAL CIRCUIT

V.A. Provkin, A.Yu. Matrosova

Tomsk State University, Tomsk, Russia

В ряде задач диагностики дискретных устройств требуется определить множество всех двоичных наборов, которые могут появиться на выходных полюсах заданной комбинационной схемы. В частности, знание множества всех достижимых наборов может использоваться для построения частично определённых функций внутренних полюсов, зависящих от предшествующих внутренних полюсов [1]. Такие функции, в свою очередь, находят применение в различных задачах: маскирование неисправностей и вредоносных подсхем, проверка корректности неполностью реализованных схем и др.

Пусть задана комбинационная логическая схема C , реализующая систему булевых функций $f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_m(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Рассмотрим следующую функцию, которая зависит от входных и выходных полюсов схемы C :

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) = (y_1 \sim f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)) \wedge (y_2 \sim f_2(x_1, x_2, \dots, x_n)) \wedge \dots \wedge (y_m \sim f_m(x_1, x_2, \dots, x_n)).$$

Каждый единичный набор этой функции представляет собой достижимую реакцию схемы после отбрасывания значений входных переменных. Представим эту функцию в виде ROBDD графа, причём порядок переменных для разложения Шеннона выберем следующим: $y_1 \prec y_2 \prec \dots \prec y_m \prec x_1 \prec x_2 \prec \dots \prec x_n$.

Таблица 1

Таблица истинности для некоторой схемы

x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	1	1

Например, пусть имеется комбинационная схема с 4 входами и 3 выходами, поведение которой описывается таблицей истинности (табл. 1). Составим для неё функцию $f(x_1, x_2, x_4, y_1, y_2, y_3)$ и представим эту функцию в виде ROBDD-графа. Полученный граф изображён на рис. 1, а. Из него можно получить множество всех достижимых реакций схемы. Однако этот граф содержит избыточную информацию. Если нужно знать только достижимые реакции схемы, но нет необходимости знать, какие входные наборы дают соответствующие реакции, то для решения задачи достаточно графа, изображённого на рис. 1, б. Сокращённый граф не содержит вершин, помеченных входными переменными схемы. В результате сокращения число вершин уменьшилось с 19 до 7. В данной работе предлагается алгоритм построения ROBDD-графа, представляющего все достижимые реакции комбинационной схемы и не содержащего вершин, помеченных входными переменными схемы. Такой алгоритм предлагается использовать для тех случаев, когда построение полного графа невозможно из-за экспоненциального роста числа вершин. Предлагаемый алгоритм представляет собой модификацию известного алгоритма построения ROBDD-графа для произвольной булевой функции [2].

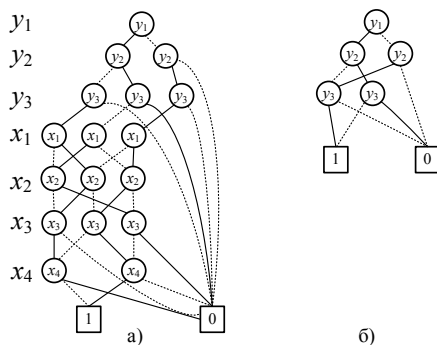


Рис. 1. а) Полный ROBDD-граф, представляющий все достижимые реакции б) Сокращённый ROBDD-граф

Литература

1. *Matrosova A., Provkin V.* Applying Incompletely Specified Boolean Functions for Patch Circuit Generation // 2021 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS) – New-York: IEEE, 2021. – С. 1–4.
2. *Bryant R.* Graph-Based Algorithms for Boolean Function Manipulation // IEEE Transactions on Computers. – 1986. – № 8. – С. 677–691.

СВЕДЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА ТЕСТОВЫХ ПАР ДЛЯ РОБАСТНО ТЕСТИРУЕМЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЗАДЕРЖЕК ПУТИ К ЗАДАЧЕ ВЫПОЛНИМОСТИ БУЛЕВЫХ ФОРМУЛ

А.Ю. Матросова, В.З. Тычинский, В.В. Андреева

Томский государственный университет, г. Томск
 mau11@yandex.ru, tvz.041@gmail.com, avv.21@mail.ru

OBTAINING TEST PAIRS FOR ROBUST TESTABLE PATH DELAY FAULTS BY SOLVING OF BOOLEAN SATISFIABILITY PROBLEM

A.Yu. Matrosova, V.Z. Tychinskiy, V.V. Andreeva

Tomsk State University, Tomsk
 mau11@yandex.ru, tvz.041@gmail.com, avv.21@mail.ru

Непрерывное развитие микроэлектроники и увеличение сложности и компактности современных интегральных схем приводит к усложнению процесса их диагностики. Разработка проверяющих и диагностирующих тестов занимает всё больше времени при проектировании цифровых устройств. Одной из актуальных проблем диагностики является получение тестовых наборов для обнаружения неисправностей задержек путей [1,2].

В работе [3] предложен алгоритм получения всех тестовых пар для робастно тестируемых неисправностей задержек путей схемы с использованием ROBDD-графов. В работе [4] был предложен альтернативный подход, в котором некоторые из этапов исходного алгоритма были реализованы с использованием т.н. КНФ Цейтина [5]. Развитие SAT-технологий позволяет обеспечить проверку выполнимости всё более сложных КНФ. Однако на последнем этапе получения тестовых пар по-прежнему требуется переход к ROBDD, поскольку исходное представление КНФ Цейтина не позволяет простого исключения переменных без нарушения связей между элементами схемы.

В работе [6] предложен алгоритм исключения переменной из КНФ Цейтина, основанный на исключении входов элементов (или самих элементов) из схемы. Таким образом, становится возможным получение новой КНФ Цейтина, соответствующей функции с исключённой переменной.

В данной работе предлагается совмещение предложенных ранее алгоритмов с целью получения КНФ Цейтина, каждое решение которой представляет собой как минимум одну тестовую пару для обнаружения неисправности задержки пути. Получение нескольких тестовых пар для одного пути целесообразно в случаях, когда необходимо построение тестовых последовательностей с низкой потребляемой мощностью [4], поскольку в этом случае требуется получение интервалов, порождающих тестовые пары. За счёт пересечения интервалов различных путей и задания необходимых значений неопределённым компонентам интервалов возможно получение тестовых последовательностей с минимально возможной потребляемой мощностью для её фрагментов. Кроме того, предложенный подход позволяет осуществлять получение тестовых пар для схем, размер которых не позволяет представить их функции в виде ROBDD-графов ввиду возможности экспоненциального роста числа вершин получаемых графов.

Литература

1. *Lyu Y, Mishra P.* Automated Test Generation for Trojan Detection using Delay-based Side Channel Analysis // DATE '20: Proceedings of the 23rd Conference on Design, Automation and Test in Europe. – San Jose: EDA Consortium, 2020. – P. 1031–1036.
2. *I. Exurville, L. Zussa, J. Rigaud and B. Robisson,* Resilient hardware Trojans detection based on path delay measurements // 2015 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST). – New-York: IEEE, 2015. – P. 151–156.
3. *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.
4. *Матросова А.Ю., Тычинский В.З., Андреева В.В.* Построение тестовых последовательностей для робастно тестируемых неисправностей задержек путей с низкой потребляемой мощностью с использованием SAT-решателей и ROBDD-графов // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2020. – № 2. – С. 43–49.
5. *Цейтин Г. С.* О сложности вывода в исчислении высказываний // Записки научных семинаров ЛОМИ АН СССР. – 1968. – Т. 8. – С. 234–259.
6. *Тычинский В.З.* Метод исключения переменной из КНФ Цейтина // Материалы VIII Международной молодежной научной конференции «Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем» / под ред. И.С. Шмырина. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2021. – С. 223–228.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ РАСШИРЕННЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ

А.В. Лапутенко¹, Е.М. Винарский^{2, 3}, А.С. Твардовский¹

¹ Томский государственный университет, Томск, Россия

² Высшая школа экономики, Москва, Россия

³ Институт системного программирования РАН им. В.П.Иванникова, Москва, Россия
laputenko.av@gmail.com, vinevg2015@gmail.com, tvardal@mail.ru

EXPERIMENTAL COMPARISON OF EQUIVALENCE CHECKING METHODS FOR EXTENDED AUTOMATA

A.V. Laputenko¹, E.M. Vinarskii^{2, 3}, A.S. Tvardovskii¹

¹ Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Higher School of Economics, Moscow, Russia

³ Ivannikov Institute for System Programming of the RAS, Moscow, Russia

Одной из классических задач анализа в теории полуавтоматов является проверка эквивалентности [1]. Формально, конечным полуавтоматом является кортеж $\mathbf{M} = (S, A, h, s_0, F)$, где S – конечное множество состояний с выделенным начальным состоянием s_0 и принимающими состояниями $F \subseteq S$, A – конечный входной алфавит, $h \subseteq S \times A \times S$ – отношение переходов. При моделировании ряда современных систем, модель конечного полуавтомата часто расширяется контекстными переменными, а также связанными с ними предикатами на переходах вида $x \bullet const$, где $\bullet \in \{>, \leq, <, \geq, ==\}$, и функциями обновления $x := const$ и $x := x * const$, где $*$ $\in \{+, -\}$. Таким образом, вводится понятие *расширенного полуавтомата*, переходы которого выполняются лишь при истинности соответствующего предиката, при этом контекстные переменные обновляются в соответствии с функциями обновления. Однако, при расширении модели двумя контекстными переменными данная задача становится алгоритмически неразрешимой [1]. В связи с этим, исследования в данной области направлены на разработку приближённых алгоритмов проверки эквивалентности.

В данной работе были рассмотрены две группы приближённых подходов к проверке эквивалентности расширенных полуавтоматов, основанные на использовании классической абстракции (*l*-эквивалента),

поведение которой совпадает с таковым для исходного полуавтомата для всех последовательностей длины не больше l . Идея подходов первой группы заключается в построении для абстракции расширенного полуавтомата некоторого конечного множества трасс и поиске в нем трассы, принимаемой одним полуавтоматом и не принимаемой другим, эквивалентность которого первому полуавтомату требуется проверить. В качестве множества таких трасс были рассмотрены последовательности, полученные обходом графа переходов классического полуавтомата, а также, все простые пути из начального состояния в любое из финальных состояний. Ко второй группе подходов относится проверка свойств исследуемых автоматов с использованием верификаторов. В логике линейного времени (LTL) формулируется свойство, согласно которому любое из финальных состояний в каждом из полуавтоматов достигается одновременно при выполнении любой входной трассы. В настоящей работе использовался верификатор Spin [2], который позволяет проверять требования, заданные в виде LTL-формул для систем, описанных на языке Promela.

Экспериментальная оценка предложенных подходов проводилась для случайно сгенерированных расширенных полуавтоматов в двух сериях экспериментов. Рассматривались полуавтоматы с числом состояний от 3 до 6, двумя входными символами и двумя целочисленными контекстными переменными. Предикаты и функции обновления задавались в соответствии с данным выше определением, в то время как входящие в них константы ограничивались диапазоном $\{1..5\}$. Абстракции расширенных автоматов с n состояниями строились до длины $l = n+1$, т.е. множество допустимых последовательностей длины не больше $n+1$ совпадали для расширенного полуавтомата и его абстракции.

В первой серии экспериментов проверка эквивалентности проводилась для двух случайно сгенерированных полуавтоматов. Во второй серии проверка эквивалентности проводилась для каждого случайно сгенерированного полуавтомата и его изменённой копии, полученной изменением предиката на одном из переходов. В каждой серии из случайно сгенерированных полуавтоматов отбирались те пары, для которых проверка формулы с помощью Spin показала неэквивалентность. В результате, для 758 пар полуавтоматов первой серии экспериментов подход на основе обхода графа переходов позволил определить неэквивалентность в 98.8% случаев; с помощью последовательностей, соответствующих простым путям – в 100%. Для 182 пар полуавтоматов второй серии экспериментов соответствующие результаты составили 36.8% и 44%. Таким образом, согласно проведенным экспериментам, обход графа переходов l -эквивалента позволяет эффективно выполнять проверку эквивалентности расширенных полуавтоматов, не прибегая к построению и перебору большого числа других последовательностей, например, всевозможных простых путей в полуавтомате. Дальнейшая работа может быть направлена на оценку предложенного подхода для полуавтоматов с большим числом различных предикатов и функций обновления, а также, рассмотрение других способов построения проверяющих последовательностей.

Литература

1. Минский М. Вычисления и автоматы. – М.: Мир, 1971. – 360 с.
2. Spin [Электронный ресурс]. – URL: <https://spinroot.com/> (дата обращения: 13.07.2022).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-АВТОМАТНЫХ АБСТРАКЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ АВТОМАТОВ

А.С. Твардовский¹, Н.В. Евтушенко²

¹Томский Государственный университет, Томск, Россия

²Институт системного программирования РАН, Москва, Россия
tvardal@mail.ru, evtushenko@ispras.ru

SOLVING ANALYSIS AND SYNTHESIS PROBLEMS FOR TIMED FINITE STATE MACHINES BASED ON THEIR FSM ABSTRACTIONS

A.S. Tvardovskii¹, N.V. Yevtushenko²

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Ivannikov Institute for System Programming of the RAS, Moscow, Russia

Исследования в области анализа и синтеза конечных автоматов проводятся с середины прошлого века [1]. Полученные результаты используются при синтезе компонентов программного и аппаратного обеспечения с требуемыми свойствами, при решении задач оптимизации, тестирования и верификации дискретных систем и др. При моделировании современных систем часто приходится учитывать временные аспекты в их поведении, такие, например, как таймауты в телекоммуникационных протоколах. Соответственно, для их исследования вводится понятие временного автомата, который отличается от классического наличием временной переменной и расширений в виде таймаутов и временных ограничений. При решении задач анализа и синтеза временных автоматов достаточно часто строятся конечно-автоматные абстракции, для которых применяются известные

методы теории автоматов. В настоящем докладе мы рассматриваем различные задачи, в которых допустимо применение конечно-автоматной абстракции из [2].

1) Задача о синтезе временного автомата для описания поведения параллельной композиции других автоматов может быть решена посредством конечно-автоматной абстракции только для ряда частных случаев. Как показано в [3], класс временных автоматов с одной временной переменной не является замкнутым относительно операции параллельной композиции.

2) Проверка эквивалентности и редукции двух полностью определенных инициальных временных автоматов может быть полностью проведена на основе соответствующих проверок для конечно-автоматных абстракций этих автоматов [2].

3) Временной полностью определенным инициальным автоматом может иметь несколько приведенных форм, в отличие от своей конечно-автоматной абстракции. Наличие единственной приведенной формы требует дополнительных ограничений для временных аспектов [4].

4) Последовательности для идентификации состояний (диагностические, установочные и синхронизирующие) позволяют определить состояние, в котором находится автомат до или после подачи таких последовательностей. Как показывается в работах [5, 6], последовательности для идентификации состояний временного автомата можно построить на основе его конечно-автоматной абстракции.

5) Как следствие пункта 2, по конечно-автоматной абстракции можно построить полный проверяющий тест для временного автомата относительно заданной модели неисправности [6].

В настоящее время мы продолжаем исследования различных задач теории автоматов, при решении которых для временных автоматов возможно использование конечно-автоматной абстракции.

Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
2. Bresolin D., El-Fakih K., Villa T., Yevtushenko N. Deterministic Timed Finite State Machines: Equivalence Checking and Expressive Power // Proceedings of the Fifth International Symposium on Games, Automata, Logics and Formal Verification. Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. – 2014. – Vol. 161. – P. 203–216.
3. Твардовский А.С., Лапутенко А.В. О возможностях автоматного описания параллельной композиции временных автоматов // Труды ИСП РАН. – 2018. – Т. 30 (1). – С. 25–40.
4. Bresolin D, Tvardovskii A., Yevtushenko N., Villa T., Gromov M. Minimizing Deterministic Timed Finite State Machines // IFAC-PapersOnline. – 2018. – Vol. 51. – № 7. – P. 486–492.
5. Твардовский А.С., Евтушенко Н.В. Синтез установочных последовательностей для автоматов с временными ограничениями // Моделирование и анализ информационных систем. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 376–395.
6. Tvardovskii A., El-Fakih K., Yevtushenko N. Deriving Tests with Guaranteed Fault Coverage for Finite State Machines with Timeouts // Proceedings of the International Conference on Testing Software and Systems (ICTSS 2018). Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 11146. – P. 149–154.

осуществляется 100%-е покрытие неисправностей. Всего для 10 неисправностей пяти элементов существует $10 \cdot 4 = 40$ пар кодовых слов, среди которых 26 пар позволяют транслировать неисправность на выходы сумматора. При самодвойственном тестировании неисправности обнаруживаются на $20/40 \cdot 100\% = 65\%$ кодовых слов.

Полный сумматор можно эффективно использовать для организации самопроверяемых схем встроенного контроля при реализации импульсного представления сигналов и использовании свойств самодвойственных функций.

Литература

1. Гессель М., Мошанин В.И., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Обнаружение неисправностей в самопроверяемых комбинационных схемах с использованием свойств самодвойственных функций // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 12. – С. 193–200.
2. Гессель М., Дмитриев А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самотестируемая структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 11. – С. 162–174.
3. Гессель М., Морозов А.А., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Построение самопроверяемых комбинационных схем на основе свойств самодвойственных функций // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2. – С. 151–163.
4. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Гессель М. Самодвойственные дискретные устройства. – СПб.: Энергоатомиздат (Санкт-Петербургское отделение), 2001. – 331 с.
5. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Основы теории надежности и технической диагностики. – СПб.: Лань, 2019. – 588 с.
6. Багдади А.А.А., Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Методы анализа и диагностирования цифровых устройств (аналитический обзор) // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2014. – № 166. – С. 59–74.

ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩИХ СХЕМ ДЛЯ СИНХРОННЫХ АВТОМАТОВ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ ТРОИРОВАНИЯ

С.А. Останин, А.Ю. Матросова, В.В. Андреева

Томский государственный университет, Томск, Россия
sergeiostanin@yandex.ru, mau11@yandex.ru, avv.21@mail.ru

CONSTRUCTION OF APPROXIMATE LOGIC CIRCUITS FOR SYNCHRONOUS AUTOMATES WITHIN TECHNOLOGY OF TRIPLE MODULAR REDUNDANCY

S.A. Ostanin, A.Yu. Matrosova, V.V. Andreeva

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Троирование является одним из широко используемым на практике подходов к обеспечению надежности функционирования логических схем. Однако появившиеся в последние годы возможности одновременного внесения в каждую копию и соответствующие линии вредоносных подсхем (Trojan Circuits) делают метод троирования уязвимым к таким действиям. Одним из выходов в этой ситуации является использование вместо идентичных трех синхронных последовательностных схем двух аппроксимирующих схем и одной рабочей схемы, выполняющей предписанное разработчиком функционирование синхронного автомата [1–3]. Этот подход, как правило, порождает незащищенную область в рабочей области функционирования синхронного автомата, что весьма нежелательно. В данной работе предлагается избавиться от незащищенной области функционирования за счет специального формирования систем функций комбинационных составляющих аппроксимирующих схем, являющихся заданием на синтез этих схем. Функции ориентированы на возможно большее отличие их от функций рабочей схемы. Это делается для того, чтобы затруднить обеспечение одинаковых искажений поведения всех трех схем в условиях внедрения в каждую из схем вредоносной подсхемы. Важно, что каждая из аппроксимирующих систем является реализацией системы частичных функций рабочей схемы. Именно это обеспечивает отсутствие незащищенной области в рабочей области функционирования синхронного автомата, реализуемого рабочей схемой. Этот подход возможен в условиях известного задания на синтез комбинационной составляющей синхронной рабочей схемы в виде системы частичных функций.

В рассматриваемом в данной работе подходе построение аппроксимирующих схем предлагается начать с построения безыбыточной системы ДНФ (БСДНФ) по заданной системе частичных функций. БСДНФ является реализацией этой системы частичных функций и используется в качестве задания на синтез рабочей схемы синхронного автомата. Эта же БСДНФ является источником получения систем ДНФ для каждой из аппроксимирующих схем, причем, получаемые системы являются реализацией той же системы частичных функций, что и БСДНФ. Такой подход, во-первых, позволяет получать аппроксимирующие системы, не порождающие незащищенной области. Предлагаемый нами подход ориентирован на этапы автоматизированного синтеза логических схем, используемые в современных САПР. В частности,

предполагается, что задание на синтез рабочей схемы в рамках САПР представляется БСДНФ. Ее искажения обеспечиваются введением в систему одиночных неисправностей константа 1 (b -неисправностей). [4, 5]. Неисправности константа 1 сводятся к снижению на единицу ранга конъюнкций отдельных ДНФ из СБДНФ, то есть к b -неисправностям некоторых конъюнкций [4, 5]. С этой целью в работе вводится операция расщепления конъюнкции K по некоторой переменной x_i , которая приводит к расширению области единичных значений реализации системы частичных функций без искажения системы частичных функций, реализованных СБДНФ. Предлагается в каждой аппроксимирующей системе использовать результаты расщеплений конъюнкций как меньших, так и больших рангов БСДНФ для обеспечения разнообразия искажений этих систем, при одинаковом числе расщеплений, используемых при получении аппроксимирующих систем.

Литература

1. Chaudhury M.R., Mohandram K. Approximate Logic Circuits for Low Overhead Non-Intrusive Concurrent Error Detection // DATE '08: Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe. – New-York : Association for Computing Machinery, 2008. – P. 902–908.
2. Sanchez-Clemente A., Entrena L., Garcia-Valderas M., Lopez-Ongil C. Logic Masking for SET Mitigation Using Approximate Logic Circuits // 2012 IEEE 18th International On-Line Testing Symposium (IOLTS). – New-York : IEEE, 2012. – P.176–181.
3. Sanchez-Clemente A. Transient Error Mitigation by Means of Approximate Logic Circuits: Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid, 2017.
4. Kohavi I., Kohavi. Z. Detection of Multiple Faults in Combinational Logic Networks // IEEE Transactions on Computers, 1972. – Vol.C-21, № 6. – P. 556–558.
5. Матросова А.Ю. Построение полного теста для схем, синтезированных методом факторизации // Автоматика и вычислительная техника. – 1978. – № 5. – С. 42–46.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КРОВИ ПРИ КОАГУЛЯЦИИ

П.С. Власов, А.А. Аристов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
psv3@tpu.ru

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR STUDYING THE VISCOELASTIC PROPERTIES OF BLOOD DURING COAGULATION

P.S. Vlasov, A.A. Aristov

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

В ходе пилотных исследований по разработке автоматизированного устройства для исследования системы гемостаза на основе оценки вязкоупругих свойств крови в процессе коагуляции, выполненных Е.А. Навродской и А.А. Аристовым, были получены фотометрические кривые, отражающие изменения физических и геометрических свойств капельного образца с течением времени при вертикальных колебаниях [1]. Полученные результаты указывают на возможность оценки коагуляции по фотометрической кривой, но для более точного анализа необходимо подобрать оптимальные физические и геометрические параметры системы (частота колебаний, амплитуда колебаний, диаметр основания капли, объем капельного образца, диаметр зондирующего потока зондирующего излучения и т.д.), которые позволят точнее дифференцировать процесс коагуляции.

Экспериментально подобрать необходимые параметры системы достаточно сложно. Требуется много экспериментов. Причем, ввиду нестабильности биологических объектов и случайного влияния внешних факторов на процесс, воспроизвести многократно одинаковые свойства системы невозможно. Поэтому, основываясь на оценке установленных в ходе ряда экспериментов закономерностях, необходимо разработать математическую модель, отражающую изменение оптических свойств капельного образца от его физических и геометрических параметров, и в дальнейшем проводить анализ данной модели.

В основе разрабатываемого прибора лежит устройство для исследования рассеивающих свойств капельных образцов биологических жидкостей [2]. Для того чтобы оценить изменение оптических свойств от геометрии капли необходимо экспериментально зафиксировать формы капель в процессе колебания в соответствующие моменты времени, когда производится их фотометрия. В создаваемом приборе будет осуществлена синхронизация видеокамеры, приемника излучения и шагового двигателя (используется для создания колебаний капель). Это необходимо для того, чтобы была возможность отследить значения фототока в определенные моменты времени и сопоставить им снимки в те же моменты времени с видеокамеры. Это позволит сделать точное заключение о том, что значения фототока на приемнике зависят от изменения оптического пути, который проходит излучение через разные среды. При вертикальных колебаниях капельный образец то вытягивается, то уплощается и из-за этого меняется оптический путь, который проходит излучение в

крови [1]. Если оптический путь через кровь увеличивается, то светопоглощение и рассеяние света тоже увеличивается, а значение фототока приемника при этом уменьшается. В процессе коагуляции изменяется вязкость крови, что сказывается на геометрии каплей и приводит к изменению оптического пути, а следовательно, и изменению фототока на приемнике.

Синхронизация работы устройств будет осуществлена за счет подачи микроконтроллером синхросигнала, при получении которого видеокамера начнет делать снимки по заранее написанному алгоритму (зависит от выбранной частоты колебаний вибрационной платформы) и сохранять их на персональный компьютер (ПК). С записью снимков будет синхронизована работа шагового двигателя, приводящего в движение виброплатформу и считывание сигнала с фотоприемника. Полученные данные о прошедшем через каплю световом потоке будут считываться микроконтроллером и передаваться на ПК. В результате будет сформирована пара файлов – изображение и фототок для данного момента колебания капли. Далее они будут обрабатываться и анализироваться. На данный момент разработана виброплатформа и написано программное обеспечение для взаимодействия видеокамеры с микроконтроллером и ПК.

Разрабатываемое устройство позволит провести исследование для установления закономерностей изменения оптических свойств от геометрии капли и далее подобрать оптимальные параметры измерительной системы для получения фотометрической кривой, наиболее точно отражающей динамику коагуляции крови. Благодаря полученной фотометрической кривой можно провести наиболее подробный и точный анализ процесса коагуляции. Впоследствии данное устройство может послужить основой для разработки автоматического портативного коагулометра, что будет способствовать решению проблемы импортозамещения в сфере медицинских приборов.

Литература

1. *Навродская Е.А., Аристов А.А.* Исследование процесса коагуляции цельной крови на основе новой методики (фотометрия капельных образцов при создании в них механических колебаний) // Сборник трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов / под ред. В.И. Жулева. – Рязань: РГРТУ, 2019. – С. 368–370.
2. *Рафальский А.С., Аристов А.А., Евтушенко Г.С., Жогло Е.В.* Устройство для исследования рассеивающих свойств капельных образцов биологических жидкостей // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 2. – С. 144–148.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Прикладные информационные технологии

<i>Щербин С.А., Глотов А.А., Глотов В.А.</i> Оптимизация теплообменного оборудования	3
<i>Микони С.В.</i> Новые главы учебного пособия по теории принятия решений	4
<i>Filimonova D. A., Vorob'eva I. G., Filimonov A. Yu.</i> Using k-means clustering for preprocessing discomycetes' images obtained in the habitat	5
<i>Полтавская Ю.О.</i> Факторы, определяющие развитие интеллектуальных транспортных систем	6
<i>Тишкова В.И., Прокопенко С.А.</i> Применение модели расширенного автомата для обучения алгоритму поиска фиктивных переменных булевой функции	7
<i>Краковский Ю.М., Кужлина О.Н.</i> Бинарное прогнозирование динамических показателей на основе вероятностной нейронной сети	8
<i>Лившиц К.И.</i> Итеративный алгоритм определения оптимального объема партии товара с ограниченным сроком реализации	9
<i>Эльхутов С.Н., Лаврик А.А., Луценко П.В.</i> Учет геометрических параметров кривошипно-шатунного механизма при оценке технического состояния поршневых машин	10
<i>Воронова Т.С., Мазур В.Г., Пудалов А.Д.</i> Пьезосорбционный детектор органических растворителей в газах	11
<i>Воронова Т.С., Мазур В.Г., Пудалов А.Д.</i> Использование сорбционно-емкостного метода неразрушающего контроля при анализе влажности органических растворителей	12
<i>Эльхутов С.Н., Луценко П.В., Сошников В.О., Лаврик А.А.</i> Исследование особенностей вибрационного сигнала поршневой машины	13
<i>Эльхутов С.Н., Сошников В.О., Луценко П.В., Лаврик А.А.</i> Особенности применения систем неразрушающего контроля для диагностики технического состояния электрических машин	14
<i>Черемисинов Д.И., Черемисинова Л.Д.</i> Экстракция логических сетей из схем на транзисторном уровне	15
<i>Седова Л.И., Уморина Ж.Э.</i> Триангуляция как способ композиционного моделирования в параметрической архитектуре	16
<i>Каравай М.Ф., Подлазов В.С., Соколов В.В.</i> Проектирование локальных гетерогенных системных управляющих сетей нового поколения	17
<i>Катаева С.С., Катаев С.Г., Сенчина Н.П., Миллер А.А., Ермолин Е.Ю.</i> Пространственный анализ потока данных спектрометрического гамма-каротажа методом выявления структур	18
<i>Лебедев М.С.</i> Сравнение алгоритмов статического планирования вычислений при конструировании потоковых вычислителей	19
<i>Камкин А.С., Лебедев М.С., Смолов С.А., Чупилко М.М.</i> Сравнение инструментов высокоуровневого синтеза и конструирования цифровой аппаратуры на примере обратного дискретного косинусного преобразования	20
<i>Гендрина И.Ю.</i> Моделирование поля отраженной солнечной радиации для безоблачной атмосферы	21
<i>Новиков П.Л., Павский К.В., Юйцзин Ч., Цзяи У.</i> Изучение атомной поверхностной диффузии Ge на структурированных подложках Si методом молекулярной динамики	22
<i>Сурич В.А.</i> Фильтрация RAW изображений на основе обобщенного метода наименьших модулей	23
<i>Ланин Е.В., Казанин В.А., Пидотова Д.А., Бадьин А.В., Дорожкин К.В.</i> Применение информационно-измерительной системы УСЖД-АКВА для мониторинга водных акваторий беспилотными автоматизированными аппаратами БАСПИ-1	24
<i>Катаев К.С., Катаев С.Г., Каменская И.В.</i> О структуре модели специалиста – выпускника педагогического вуза	25
<i>Титов А.Л.</i> Этапы освоение компьютерной подачи студентами–архитекторами 2 курса	26
<i>Сабельфельд К.К., Киреева А.Е.</i> Векторный рандомизированный алгоритм решения Больших систем линейных алгебраических уравнений	27
<i>Захарова Г.Б.</i> BIM и NBIM. сопоставление двух технологий информационного моделирования	28
<i>Кругликов С.В., Захарова Г.Б.</i> О регулировании рисков применения искусственного интеллекта для управления «умным арктическим городом»	29
<i>Korniaikov M., Trufanov A., Tikhomirov A., Berestneva O., Jafari G., Kuklina M., Altangerel E., Dashdorj Z.</i> Network paradigm of sustainable development: remote territories	30
<i>Шамардин А.Б., Шамардин А.Д.</i> Программное обеспечение расчета материальных затрат на строительство кирпично-монолитных жилых зданий	31
<i>Евтушенко Т.Г., Клочкова Е.С., Дробчик М.В.</i> Определение весовых коэффициентов субъективной и объективной сложности медиатекста	32
<i>Шевалдина Д.И.</i> Лабораторный макет для цифровой обработки аналоговых сигналов и изображений на базе микроконтроллера STM32H747	33

<i>Юрченко Е.А.</i> Устройство автоматизации процесса исследования метода ик-спектроскопии для диагностики внутричерепных гематом.....	34
<i>Шульга И.Д.</i> Обзор образовательных игр.....	35
<i>Бурдонов И.Б., Карнов А.А.</i> Компьютерный анализ параллелизмов стихов «Канона стихов» (Ши цзин) как четырёхмерных матриц	36
<i>Трубачев А.А., Шевалдина Д.И.</i> Лабораторный макет на базе микроконтроллера STM8S207RB	37

Секция 2. Искусственный интеллект

<i>Байрашева В.Р., Соловьев В.Д., Исламов М.В.</i> Расширение словаря позитивной/негативной лексики посредством нейронных сетей.....	38
<i>Комаров А.Ю.</i> Обучение с оценкой ситуации.....	39
<i>Фоминский В.С., Замятин А.В.</i> Алгоритм идентификации поведенческих паттернов с низкой трудоемкостью.....	40
<i>Гу Ч.</i> Непарное преобразование изображения в изображение с использованием CycleGAN на основе трансформера.....	41

Секция 3. Стохастические модели

<i>Ким К.С., Смагин В.И.</i> Робастная экстраполяция в дискретных системах с мультипликативными возмущениями и интервальными параметрами.....	43
<i>Кеба А.В., Нежелская Л.А.</i> Уравнения моментов для оценки длительности мёртвого времени в коррелированном и рекуррентном обобщённых МАР-потоках событий.....	44
<i>Добронец Б.С., Попова О.А., Мерко А.М.</i> Вычислительные аспекты и способы реализации вероятностных арифметик над случайными переменными	45
<i>Кашеева А.Е., Сурина А.А.</i> К вопросу управления риском в многомерных гауссовских системах методами первого порядка	46
<i>Кошкин Г.М.</i> Оценивание нетто-резервов в непрерывных актуарных моделях	47
<i>Дмитриев Ю.Г., Кошкин Г.М.</i> Непараметрическое оценивание функции надежности с учетом информации о моментах времени безотказной работы невосстанавливаемого элемента.....	48
<i>Кошкин Г.М., Пивен И.Г.</i> Непараметрические полурекуррентные алгоритмы идентификации и управления в агх-моделях	49
<i>Gortsev A.M., Vetkina A.V.</i> MM estimation of distribution parameter of the duration of unextendable random dead time in the recurrent semi-synchronous event flow.....	50
<i>Зверкина Г.А.</i> О степенной скорости сходимости для одной нерегенерирующей системы надежности	51
<i>Катаева Е.С., Якимук А.Ю.</i> Прогнозирование временных рядов с сезонной составляющей	51
<i>Карим П.Х., Михеев П.А., Приступа П.В., Сущенко С.П.</i> Быстродействие транспортного соединения в условиях соперничества за полосу пропускания	52
<i>Добронец Б.С., Попова О.А.</i> Распределение второго порядка: построение, операции, приложения.....	53
<i>Горцев А.М., Нежелская Л.А.</i> Однолинейная система массового обслуживания с входящим МАР-потоком событий	54
<i>Дмитренко А.Г., Балашова О.М.</i> Моделирование электромагнитного рассеяния на структурах, составленных из тонких идеально проводящих и диэлектрических цилиндров.....	56

Секция 4. Разработка программного обеспечения и BIG DATA

<i>Асламова В.С., Асламов А.А., Головкова Е.А., Шнейгельбергер Е.А., Истомина А.А.</i> Автоматизация теплового расчёта реактора для синтеза сорбентов с использованием хлорлигнина. Теплообмен при разогреве реакционной смеси.....	57
<i>Змеев Д.О., Иванова Л.С.</i> Проблемы жизненного цикла проектных сущностей в стандарте OMG Essence	58
<i>Романюта А.А., Курносов М.Г.</i> Реализация коллективных операций MPI на базе разделяемой памяти.....	59
<i>Матольгина Н.А., Громов М.Л., Матольгин А.К., Торгаев С.Н.</i> Применение фреймворка TensorFlow для реализации клеточных автоматов.....	60

Секция 5. Квантовые вычисление и криптография

<i>Павский К.В., Павский В.А.</i> Осуществимость решения задач на вычислительных системах при групповом обслуживании	62
--	----

<i>Каширский Д.Е., Якименко Ф.А.</i> Исправление ошибок в криптографических ключах, полученных методами квантовой криптографии, с помощью древовидных машин четности	63
<i>Дуплинский А.В., Хмелев А.В., Мерзлинкин В.Е., Письменюк Л.В., Бахшалиев Р.М., Тихонова К.В., Нестеров И.С., Курочкин В.Л., Курочкин Ю.В.</i> Масштабируемая спутниковая сеть для распределения квантовых ключей на основе кубсата	64
<i>Олейник М.А.</i> Реализация простейших алгоритмов квантовой обработки изображений.....	65
<i>Торгаев С.Н., Каширский Д.Е., Громов М.Л., Евтушенко Л.Г.</i> Реализация телекоммуникационной системы на базе методов квантовой криптографии	66
<i>Торгаев С.Н., Каширский Д.Е., Громов М.Л., Иванов А.Е.</i> Разработка программного обеспечения для управления макетом установки квантовой связи	67

Секция 6. Дискретные системы

<i>Пащуков А.В.</i> Синтез устройств управления движением поездов на перегонах на основе программируемых логических интегральных схем.....	68
<i>Широкова Е.В., Евтушенко Н.В.</i> Проверка разрешимости уравнений относительно конкатенации для полуавтоматов с таймаутами	69
<i>Сотников А.П., Шабалдина Н.В., Громов М.Л., Прокопенко С.А., Твардовский А.С.</i> Эксперимент по выявлению избыточного сетевого взаимодействия Dart-реализации SMTP-клиента с сервером	70
<i>Сотников А.П., Громов М.Л., Прокопенко С.А., Шабалдина Н.В.</i> Проверка свойства реактивности в Dart-реализации SMTP-клиента	71
<i>Провкин В.А., Матросова А.Ю.</i> Алгоритм построения ROBDD-графа, представляющего множество всех достижимых реакций комбинационной логической схемы	72
<i>Матросова А.Ю., Тычинский В.З., Андреева В.В.</i> Сведение задачи поиска тестовых пар для робастно тестируемых неисправностей задержек пути к задаче выполнимости булевых формул.....	73
<i>Лапутенко А.В., Винарский Е.М., Твардовский А.С.</i> Экспериментальное сравнение методов проверки эквивалентности расширенных полуавтоматов.....	74
<i>Твардовский А.С., Евтушенко Н.В.</i> Использование конечно-автоматных абстракций при решении задач анализа и синтеза для временных автоматов	75

Секция 7. Цифровые устройства

<i>Ефанов Д.В., Погодина Т.С.</i> Самодвойственное тестирование полного сумматора.....	77
<i>Останин С.А., Матросова А.Ю., Андреева В.В.</i> Построение аппроксимирующих схем для синхронных автоматов в рамках технологии троирования	78
<i>Власов П.С., Аристов А.А.</i> Разработка устройства для исследования вязкоупругих свойств крови при коагуляции	79

Научное издание

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ
СЛОЖНЫХ СТРУКТУР**

МАТЕРИАЛЫ
ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
19–24 сентября 2022 г.

Издание подготовлено в авторской редакции

Компьютерная верстка О.А. Турчинович
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано в печать 19.08.2022 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Печ. л. 10,5; усл. печ. л. 23,6; уч.-изд. л. 9,8.
Тираж 500 экз. Заказ № 5126.

Издание отпечатано на оборудовании Издательства
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8(382-2) 53-15-28; 52-98-49
<http://publish.tsu.ru>; e-mail; rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-907572-15-7



9 785907 572157 >