

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВСЕРОССИЙСКАЯ ГРУППА ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ИЕЕЕ  
АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ  
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»  
ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ  
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ

*XX Международная  
научно-техническая конференция,  
посвященная 75-летию Победы  
в Великой Отечественной войне*

# **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

*Сборник статей*

*Декабрь 2020 г.*

Пенза

УДК 004  
ББК 32.81я43+74.263.2+65.050.2я43  
П781

П781      **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ,  
УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ :**  
сборник статей XX Международной научно-технической  
конференции, посвященной 75-летию Победы  
в Великой Отечественной войне. – Пенза: Приволжский Дом  
знаний, 2020. – 288 с.

ISBN 978-5-8356-1757-9  
ISSN 2311-0406

Под редакцией **В.И. Горбаченко**, доктора технических наук,  
профессора;  
**В.В. Дрождина**, кандидата технических наук,  
профессора

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Рос-  
сийского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору  
№ 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1757-9  
ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный  
университет, 2020  
© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2020

*XX International  
scientific and technical conference,  
dedicated to the 75th anniversary of the Victory  
in the Great Patriotic War*

**PROBLEMS OF INFORMATICS  
IN EDUCATION, MANAGEMENT,  
ECONOMICS AND TECHNICS**

*December, 2020*

Penza

5. Мисюк Т.М. Использование компьютерных технологий в линейном программировании. – 2011.
6. Коновалова М.В. Стохастическое линейное программирование. Метод возмущений. – 2012.
7. Гелдиев Х.А., Аманов А.Т. Задача линейного программирования с двусторонними ограничениями. – 2012.
8. Дунаев Д.Н. Виды задач линейного программирования, способы их решения. – 2013.
9. Сдвижков О.А. Применение линейного программирования к задачам алгебры логики. – 2017.
10. Буркова И.В., Дранко О.И. Реализуемость финансового плана с использованием линейного программирования. – 2010.
11. Бестужева Л.П., Медведева Л.Б. Решение задачи линейного программирования графическим способом. – 2010.
12. Афанасьев А.П., Дзюба С.М. Математические основы теории экстремальных задач.
13. Лунгу К.Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач. – М.: Физматлит, 2010.

**Коковкин Дмитрий Андреевич**  
Тверской государственный  
университет,  
г. Тверь, Россия

**Kokovkin D. A.**  
Tver State University,  
Tver, Russia

---

УДК 004.051

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, МОДЕЛИРУЮЩИХ РАБОТУ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

**В. П. Кулагин, А. А. Логинов, В. Д. Корепанов**

### **ANALYSIS OF SOFTWARE TOOLS THAT SIMULATE THE OPERATION OF PETRI NETS**

**V. P. Kulagin, A. A. Loginov, V. D. Korepanov**

**Аннотация.** Представлен обзор существующего программного обеспечения для моделирования сложных систем с использованием сетей Петри (СП). Проведен сравнительный анализ возможностей используемых в настоящее время программных средств.

**Ключевые слова:** сети Петри, дискретно-событийное моделирование, программное обеспечения для сетей Петри, CPN Tools, AnyLogic, MATLAB, APT, APO, PIPE, TAPAAL, СП с синхронизированными дугами, раскрашенные СП, PNML.

**Abstract.** There is provides an overview of the existing software for modeling using Petri nets. The features of the Petri nets and the advantages of its use are presented. The relevance of the development and use of tools for working with Petri nets is reasonable. A comparative analysis of the capabilities of software tools, including a comparison of the analysis and synthesis functions, the capabilities of creating libraries, cross-platform support, etc. Conclusions are drawn about the spheres of application of the described software.

**Keywords:** petri nets, discrete-event simulation, petri net modeling software, CPN Tools, AnyLogic, MATLAB, APT, APO, PIPE, TAPAAL, Timed-Arc Petri net, Coloured Petri net.

## **Введение**

Сети Петри (СП) впервые были описаны в 1962 году немецким математиком Карлом Петри и к настоящему времени приобрели широкое применение. Сети Петри являются удобным математическим аппаратом для формализации, анализа и моделирования дискретно-событийных систем [1-6]. Рассмотрим основные функциональные возможности современных пакетов, моделирующих работу и проводящих анализ сетей Петри.

### **1. CPNTools**

CPNTools – одна из самых известных программ для моделирования сетей Петри. Данное программное обеспечение (ПО) является открытым и свободным [19].

Основными функциями CPNTools являются: создание СП-моделей, анализ их поведения с помощью имитации динамики сети Петри, а также построение и анализ пространства состояний модели.

### **2. AnyLogic**

AnyLogic – коммерческая среда для имитационного моделирования, которая обладает бесплатной версией для использования в образовательном процессе. [4, 8].

AnyLogic написан на Java в Eclipse и является кроссплатформенным программным обеспечением. AnyLogic располагает возможностью изменения параметров модели во время ее выполнения, что позволяет наглядно демонстрировать динамику моделируемой системы [5].

### **3. MATHLABPetriNetToolbox**

PetriNetToolbox (PNTtoolbox) представляет собой ПО, встроенное в окружение MATLAB. Согласно [21], поддерживается только одна платформа – Windows.

ПО обладает графическим интерфейсом, и при его помощи возможно построить дерево достижимых разметок (ДДР), которое может быть представлено как в виде списка, так и в виде графа; присутствует возможность отобразить СП в виде матриц инцидентности.

### **4. ART**

ART является открытым и свободным программным обеспечением. Данный продукт написан на Java и может быть запущен на любой ОС, которая поддерживает JVM. ART позволяет построить ДДР, отобразить матрицу инцидентности, а также определить такие свойства сети, как живость, ограниченность, наличие конфликтов и др.

### **5. APO**

APO представляет собой веб-интерфейс для ART, написанный на языке программирования CoffeeScript. Данный продукт позволяет проводить имитацию, анализ и синтез СП в браузере.

### **6. PIPE**

PIPE – кроссплатформенное программное обеспечение с открытым исходным кодом для разработки и анализа СП. ПО поддерживает работу с обобщенными стохастическими СП [16, 24].

### **7. TAPAAL**

TAPAAL представляет собой программное обеспечение с открытым исходным кодом, написан с использованием языков C++ и Java [13, 25]. Функции для анализа СП включают имитацию работы, анализ достижимости разметки и верификацию СП [9, 13, 25-27].

## **8. Сравнительный анализ программных средств моделирования сетей Петри**

Результаты анализа возможностей программных пакетов для моделирования сетей Петри представлены в таблице.

### **Заключение**

В статье проведен сравнительный анализ некоторых, используемых в настоящее время средств для работы с сетями Петри. Можно отметить, что аппарат СП в настоящее время остается актуальным средством формализации, анализа и моделирования дискретно-событийных систем разного уровня сложности и для работы с ним существует набор постоянно развивающихся функционально ориентированных программных модулей.

Кроссплатформенное ПО	CPN Tools	MATLAB R2019b Net Toolbox	AnyLogic	APT	TARAAL	RIDE	ARO
Язык программирования	Net			Да			Да <sup>1</sup>
Графический интерфейс	BETA/Standard ML/Java	Н/Д	Java	Java	Java C++	Java	CoffeeScript
Тип лицензии	Свободная	Да		Да <sup>2</sup>		Да	
Связь СП	Н/Д	Коммерческая <sup>3</sup>	Коммерческая <sup>4</sup>	Связь из графа переходов	Н/Д	Н/Д	Связь из графа переходов
Анализ СП	Оценка свойств сети	Имитация работы	Имитация работы	ДПР	Имитация работы	ДПР <sup>5</sup>	ДПР
				Матричное представление		Матричное представление <sup>6</sup>	Оценка свойств сетей
				Оценка свойств сетей		Имитация работы <sup>4</sup>	Имитация работы
				Имитация работы		Анализ достижимости	
				Стохастические СП		Верификация СП	
		Обобщенные стохастические СП		Имитация работы <sup>6</sup>		Оценка свойств сетей <sup>5</sup>	

<sup>1</sup> Отсутствует в браузере, т.е. может быть запущено через браузер на различных ОС.

<sup>2</sup> Проект открыт позволяет работать с API в графическом окружении.

<sup>3</sup> Для работы необходимо MATLAB.

<sup>4</sup> Присутствует бесплатная версия для использования в образовательном процессе.

<sup>5</sup> Согласно [16], часть функций для анализа отсутствует в RIDE 5.

<sup>6</sup> Имитация возможна при использовании API-д.

### Библиографический список

1. Булавский П.Е., Вайсов О.К. Формализация процессов электронного документооборота технической документации с помощью сетей Петри // Автоматика на транспорте. – 2018. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalizatsiya-protssessov-elektronного-dokumentoooborota-tehnicheskoy-dokumentatsii-s-pomoschyu-setey-petri> (дата обращения: 02.04.2020).
2. Дмитриев В.Н., Тушнов А.С., Сергеева Е.В. Имитационное моделирование системы мониторинга многозвенной сети передачи данных // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – №2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-sistemy-monitoringa-mnogozvennoy-seti-peredachi-dannyh> (дата обращения: 02.04.2020).
3. Зайцев Д. А., Шмелева Т. Р. Моделирование телекоммуникационных систем в CPN Tools: учебное пособие по курсу «Математическое моделирование информационных систем» для подготовки магистров в отрасли связи. – Одесса: ОНАТ, 2006. – 60 с.
4. Калугин А. И. Оптимизационный эксперимент в среде AnyLogic // Наука и школа. – 2015. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsionnyu-eksperiment-v-srede-anylogic> (дата обращения: 02.04.2020).
5. Маликов Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб.пособие. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
7. О компании – инструмент имитационного моделирования AnyLogic // AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса. URL: <https://www.anylogic.ru/company/about-us/> (дата обращения: 03.10.2020).
8. Скачать – инструмент имитационного моделирования AnyLogic // AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса. URL: <https://www.anylogic.ru/downloads/> (дата обращения: 03.10.2020).
9. Amparore E. et al. Presentation of the 9th Edition of the Model Checking Contest. In: Beyer D., Huisman M., Kordon F., Steffen B. (eds) and Analysis of Systems. TACAS 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11429. Springer, Cham
10. Apt/extending.md at master CvO-Theory/apt GitHub // The world's leading software development platform GitHub. URL: <https://github.com/CvO-Theory/apt/blob/master/doc/extending.md> (дата обращения: 28.09.2020).



11. Apt/obtaining.md at master · CvO-Theory/apt · GitHub // The world's leading software development platform · GitHub. URL: <https://github.com/CvO-Theory/apt/blob/master/doc/obtaining.md> (дата обращения: 13.09.2020).
12. Billington, Jonathan & Christensen, Søren & Hee, Kees & Kindler, Ekkart & Kummer, Olaf & Petrucci, Laure & Post, Reinier & Stehno, Christian & Weber, Michael. (2003). The Petri Net Markup Language: Concepts, Technology and Tools. 483-505. 10.1007/3-540-44919-1\_31.
13. David, A., Jacobsen, L., Jacobsen, M., Jørgensen, K.Y., Møller, M.H., Srba, J.: TAPAAL 2.0: integrated development environment for timed-arc Petri nets. In: Flanagan, C., König, B. (eds.) TACAS 2012. LNCS, vol. 7214, pp. 492–497. Springer, Heidelberg (2012).
14. Eike Best and Uli Schlachter Analysis of Petri Nets and Transition System / 8th Interaction and Concurrency Experience. – 2015. - EPTCS 189, P. 53-67
15. GitHub - CvO-Theory/apt-gui // The world's leading software development platform GitHub. URL: <https://github.com/CvO-Theory/apt-gui> (дата обращения: 20.04.2020).
16. GitHub - sarahtattersall/PIPE: PIPE - Platform Independent Petri Net Editor // The world's leading software development platform · GitHub. URL: <https://github.com/sarahtattersall/PIPE> (дата обращения: 20.07.2020).
17. GitHub - stromhalm/apo: An Application for online Petri net design and analysis // The world's leading software development platform · GitHub. URL: <https://github.com/stromhalm/apo> (дата обращения: 20.07.2020).
18. Leskovar R., Tanzler J., Bicher M. Petri Net Modelling and Simulation in AnyLogic and MATLAB for ARGESIM Benchmark C4 “Dining Philosophers” / SNE Educational Note. – 2014. - Vol. 24, No. 1, P. 55-58.
19. Licenses – CPN Tools // CPN Tools – A tool for editing, simulating, and analyzing Colored Petri nets. URL: <http://cpntools.org/category/licenses/> (дата обращения: 02.04.2020).
20. Linux/Mac OS X – CPN Tools // CPN Tools – A tool for editing, simulating, and analyzing Colored Petri nets. URL: <http://cpntools.org/2018/01/15/linux-mac-os-x/> (дата обращения: 02.04.2020).
21. MATLAB Petri Net Toolbox - File Exchange - MATLAB Central // MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink. URL: [https://www.mathworks.com/products/connections/product\\_detail/petri-net-toolbox.html](https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/petri-net-toolbox.html) (дата обращения: 02.04.2020).
22. M.H. Matcovschi, C. Mahulea, O. Pastravanu Petri Net Toolbox for MATLAB // ResearchGate | Find and share research. URL: [https://www.researchgate.net/publication/242388510\\_Petri\\_Net\\_Toolbox\\_for\\_MATLAB](https://www.researchgate.net/publication/242388510_Petri_Net_Toolbox_for_MATLAB) (дата обращения: 11.06.2020).

23. M. Westergaard. CPN Tools 4: Multi-formalism and Extensibility. In Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013, pp. 400–409.

24. N.J. Dingle, W.J. Knottenbelt and T. Suto. PIPE2: A Tool for the Performance Evaluation of Generalised Stochastic Petri Nets (PDF format). ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review (Special Issue on Tools for Computer Performance Modelling and Reliability Analysis), Vol. 36(4), March 2009, pp. 34–39.

25. Tapaal.net: Download // tapaal.net: Introduction. URL: <http://www.tapaal.net/download/> (дата обращения: 27.07.2020).

26. Tapaal.net: Features // tapaal.net: Introduction. URL: <http://www.tapaal.net/features/> (дата обращения: 21.07.2020).

27. Tapaal.net: Introduction // tapaal.net: Introduction. URL: <http://www.tapaal.net/> (дата обращения: 18.09.2020).

**Кулагин**  
**Владимир Петрович**  
РТУ МИРЭА,  
г. Москва, Россия  
E-mail: [kulagin@mirea.ru](mailto:kulagin@mirea.ru)

**Kulagin V. P.**  
RTUMIREA,  
Moscow, Russia

**Логинов А. А.**  
РТУ МИРЭА,  
г. Москва, Россия

**Loginov A. A.**  
RTUMIREA,  
Moscow, Russia

**Корепанов В. Д.**  
ИнтерЭВМ,  
г. Москва, Россия

**Korepanov V. D.**  
InterComputer,  
г. Moscow, Russia