

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

И.О. Адамова

adamovaio@student.bmstu.ru

SPIN-код: 6049-7350

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Для моделирования распределенных систем обработки информации применяется большое количество различных формализмов и методов, однако не каждый из них может достаточно отобразить все свойства таких сложных систем. Как инструменты для их анализа и контроля рассматриваются следующие формализмы: алгебры процессов, агрегативные системы, агентные модели, а также такие разновидности графов, как конечные автоматы, вероятностные автоматы, сети Петри, системы массового обслуживания. Приведена классификация перечисленных инструментов, отмечены их основные особенности, предложены варианты использования для работы с ними существующего программного обеспечения, выделен наиболее подходящий формализм. На основании указанных особенностей сделан вывод, что наиболее подходящими для анализа и контроля сложных систем являются вложенные многоуровневые сети Петри.

Ключевые слова

Распределенные системы, моделирование распределенных систем, конечные автоматы, вероятностные автоматы, сети Петри, вложенные сети Петри, алгебры процессов, агрегативная система, агентная модель, граф

Поступила в редакцию 22.12.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

В настоящее время активно используются и развиваются распределенные системы обработки информации (РСОИ). Известно, что РСОИ представляет собой сложную многофункциональную распределенную систему, осуществляющую сбор, передачу и обработку информации, поступающей от различных источников [1]. Она включает в себя источники и пункты приема информации, узлы и каналы связи, центры обработки информации и управления.

Распределенным системам присущи следующие свойства:

- масштабируемость, т. е. система позволяет добавлять новые узлы и выдерживает увеличившуюся нагрузку от их появления;
- надежность, что означает, что вся система не выходит из строя при нарушении работы одного из ее узлов;
- прозрачность, т. е. пользователям предоставляются все ресурсы системы через известный интерфейс, при этом структура сети и распределение ресурсов по ней остается скрытым от пользователей.

Распределенные системы обработки информации являются сложными системами, требующими высокой производительности и отказоустойчивости, поэтому нужно исследовать их поведение в различных ситуациях. Для этого суще-

ствует множество подходов к их моделированию [2]. В связи с этим будет актуальной классификация существующих методов.

В связи со сложностью РСОИ трудно предусмотреть все состояния, в которых она может оказаться, и достоверно прогнозировать ее поведение. Однако при их использовании от них требуется высокая производительность и отказоустойчивость, поэтому необходимо рассмотреть методы, которые могут быть применены для исследования РСОИ. Таким образом, актуальной будет классификация формализмов, используемых для их моделирования.

Обзор формализмов. Графы. Для структуры распределенной системы естественным является ее представление в виде графа. Выделим следующие виды графов.

А. Конечные автоматы являются классическим методом представления распределенных систем (РС). Однако с учетом растущей функциональной и структурной сложности РС данный метод моделирования с трудом можно назвать удовлетворительным для представления свойств системы. Также конечный автомат мало приспособлен для моделирования систем с недетерминированным поведением, коими могут являться РС. Инструментом для работы с конечными автоматами служит система TismTool [3].

Б. Вероятностные автоматы [4], т. е. конечные автоматы с вероятностными переходами, лучше отвечают необходимости работать с недетерминированными системами;

В. Системы массового обслуживания также являются допустимым средством решения поставленной проблемы.

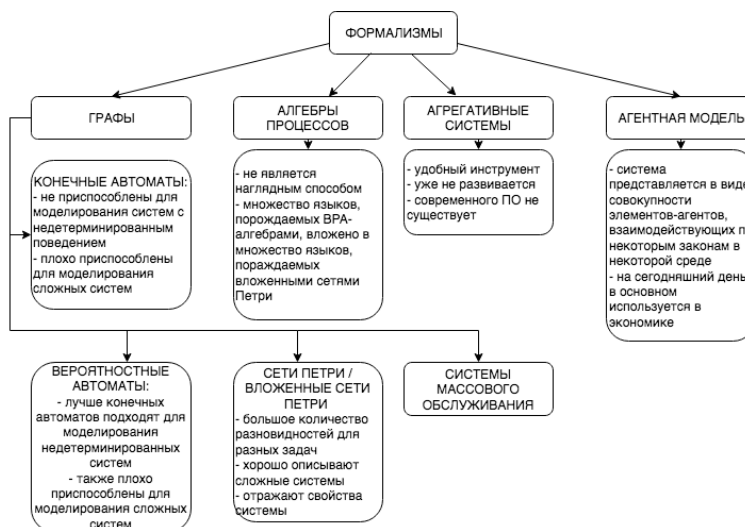
Г. Сети Петри [5] отличаются от приведенных выше разновидностей графов тем, что они позволяют указывать не только переходы от состояния к состоянию, но и свойства системы. Существует множество их разновидностей, отвечающих разным задачам и являющихся подходящими для разных объектов исследований: обыкновенные, элементарные, предикатные, раскрашенные, стохастические и др. Также расширением этого формализма являются вложенные сети Петри [6]. Это расширение было разработано в связи с возрастающей сложностью распределенных систем и необходимостью более адекватного представления для них. Требуемые свойства разработанного расширения формализма достигаются за счет того, что фишки во вложенных сетях Петри сами могут являться сетями Петри, а между порождающей и порождаемой сетью Петри может быть обеспечена связь. Инструментами для работы с сетями Петри являются системы Romeo [7], CPNTools [8]. Инструментом для работы с вложенными сетями Петри служит программный продукт NPN2CPN [9] — транслятор вложенных сетей Петри в цветные для анализа с помощью CPNTools.

Алгебры процессов (АП) [10] используются для спецификации и верификации распределенных систем обработки информации, подходят для моделирования систем с недетерминированным поведением. При представлении РСОИ в виде процессов можно выбирать разный уровень детализации действий системы, однако при подробном описании системы могут возникнуть существенные проблемы при вычислениях. В работе [1] было проведено сравнение ВРА-

алгебры — разновидности алгебр процессов — с вложенными рекурсивными сетями Петри с точки зрения бисимуляционной эквивалентности. Оказывается, что имеет место $L(BPA) \subseteq L(NPN)$, где $L(BPA)$ — языки, порождаемые BPA-программами, $L(NPN)$ — языки, порождаемые вложенными сетями Петри, и возможна симуляция BPA-программ NP-сетями с сохранением бисимуляционной эквивалентности. Программным обеспечением для работы с алгебрами процессов служит система TAPAs.

Агрегативные системы [11], представляются в виде кусочно-линейных агрегатов или объединения конечного числа агрегативных систем, являются удобным инструментом для моделирования РС. Сложная система разбивается на более простые, при этом сохраняются связи, отвечающие за их взаимодействие. Это разбиение можно проводить, пока не будет достигнут требуемый уровень детализации. Могут быть использованы для моделирования систем с недетерминированным поведением. В виде агрегативной системы могут быть представлены рассмотренные выше сети Петри и конечные автоматы. Однако современного программного обеспечения для работы с ними не существует.

Агентная модель [12] подразумевает исследование поведения системы, которая представляется как совокупность элементов-агентов, взаимодействующих по некоторым законам в некоторой среде. Этот метод имитационного моделирования сегодня является очень популярным для экономических исследований. Инструментом для работы с ней является система NetLogo [13].



Классификация формализмов для моделирования распределенных систем

На основе описания формализмов можно сделать вывод, что именно вложенные многоуровневые сети Петри объединяют в себе следующие свойства, важные при моделировании РСОИ:

- модель может отображать свойства системы;
- соответствует требованию адекватного представления систем высокой сложности;

- имеет возможность наглядного графического представления;
- характеризуется наличием формальной базы;
- имеет возможность моделирования систем с недетерминированным поведением.

Остальные формализмы не обладают полным набором этих свойств (см. схему).

Заключение. В приведенной выше классификации описаны различные формализмы, которые могут быть использованы для моделирования распределенных систем обработки информации. Упомянуты их свойства и программное обеспечение, которое предназначено для работы с ними. Сделан вывод, что свойства, присущие вложенным многоуровневым сетям Петри, свидетельствуют о том, что именно они наилучшим образом подходят для анализа и контроля сложных систем.

Литература

- [1] Габалин А.В. Вопросы оптимизации структуры распределенных систем обработки информации. *Прикладная информатика*, 2007, № 6, с. 129–139.
- [2] Гурин Р.Е., Рудаков И.В., Ребриков А.В. Методы верификации программного обеспечения. *Наука и образование: научное издание*, 2015, № 10. URL: <http://engineering-science.ru/doc/823129.html>
- [3] TismTool: веб-сайт. URL: www.tismtool.com (дата обращения: 11.12.2019).
- [4] Старолетов С.М., Крючкова Е.Н. Моделирование распределенных многокомпонентных программных систем и их тестирование на основе автоматных вероятностных моделей. Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2011.
- [5] Котов В.Е. Сети Петри. М., Наука, 1984.
- [6] Ломазова И.А. Вложенные сети Петри. М., Научный мир, 2004.
- [7] Romeo: веб-сайт. URL: <http://romeo.rts-software.org> (дата обращения: 11.12.2019).
- [8] CPN Tools: веб-сайт. URL: <http://cpntools.org> (дата обращения: 11.12.2019).
- [9] Дворянский Л.В., Ломазова И.А. Имитационное моделирование и верификация вложенных сетей Петри с использованием CPNTools. *Моделирование и анализ информационных систем*, 2012, т. 19, № 5, с. 115–130.
- [10] Fokkink W. Introduction to process algebra. Springer, 2007.
- [11] Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М., Академия АйТи, 2005.
- [12] Лебедюк Э.А. Агентное моделирование: состояние и перспективы. *Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова*, 2017, № 6, с. 155–162.
- [13] NetLogo: веб-сайт. URL: <https://cd.northwestern.edu/netlogo> (дата обращения: 11.12.2019).

Адамова Ирина Олеговна — студентка кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Рудаков Игорь Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Адамова И.О. Классификация методов моделирования распределенных систем обработки информации. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 02(55). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-02-676>

CLASSIFICATION OF MODELING METHODS FOR DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING SYSTEMS

I.O. Adamova

adamovaio@student.bmstu.ru

SPIN-code: 6049-7350

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

A large number of different formalisms and methods are used to simulate distributed information processing systems, but not each of them can sufficiently reflect all the properties of such complex systems. The following formalisms are considered as analysis and control tools: process algebras, aggregate systems, agent-based models, as well as such types of graphs as finite automata, probabilistic automata, Petri nets, and queuing systems. A classification of the listed tools is given, their main features are noted, options for using existing software for working with them are proposed, the most suitable formalism is highlighted. Based on these features, it was concluded that nested multilevel Petri nets are the most suitable for the analysis and control of complex systems.

Keywords

Distributed systems, modeling of distributed systems, finite automata, probabilistic automata, Petri nets, nested Petri nets, process algebras, aggregate system, agent-based model, graph

Received 22.12.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Gabalin A.V. Optimization issues of distributed data processing systems structure. *Prikladnaya informatika* [Journal of Applied Informatics], 2007, no. 6, pp. 129–139 (in Russ.).
- [2] Gurin R.E., Rudakov I.V., Rebrikov A.V. Methods of software verification. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2015, no. 10. URL: <http://engineering-science.ru/doc/823129.html> (in Russ.).
- [3] TismTool: website. URL: www.tismtool.com (accessed: 11.12.2019).
- [4] Staroletov S.M., Kryuchkova E.N. Modelirovanie raspredelennykh mnogokomponentnykh programnykh sistem i ikh testirovanie na osnove avtomatnykh veroyatnostnykh modeley [Modelling of distributed multicomponent software systems and their testing based on automated probability models]. Barnaul, Izd-vo AltGTU Publ., 2011 (in Russ.).
- [5] Kotov V.E. Seti Petri [Petri networks]. Moscow, Nauka Publ., 1984 (in Russ.).
- [6] Lomazova I.A. Vlozhennye seti Petri [Nested Petri network]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2004 (in Russ.).
- [7] Romeo: website. URL: <http://romeo.rts-software.org> (accessed: 11.12.2019).
- [8] CPNTools: website. URL: <http://cpntools.org> (accessed: 11.12.2019).
- [9] Dvoryanskiy L.V., Lomazova I.A. CPN tools-assisted simulation and verification of nested Petri nets. *Modelirovanie i analiz informatsionnykh sistem*, 2012, vol. 19, no. 5, pp. 115–130 (in Russ.). (Eng. version: *Aut. Control Comp. Sci.*, 2013, vol. 47, no. 7, pp. 393–402. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411613070201>)
- [10] Fokkink W. Introduction to process algebra. Springer, 2007.

- [11] Lychkina N.N. Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov [Imitation modeling of economic processes]. Moscow Akademiya AyTi Publ., 2005 (in Russ.).
- [12] Lebedyuk E.A. Agent-based modelling: state and prospects. *Vestnik REA im. G.V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2017, no. 6, pp. 155–162 (in Russ.).
- [13] NetLogo: website. URL: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo> (accessed: 11.12.2019).

Adamova I.O. — Student, Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Rudakov I.V., Cand. Sc. (Eng.), Head of Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Adamova I.O. Classification of modeling methods for distributed information processing systems. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 02(55). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-02-676.html> (in Russ.).