

О СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИКАХ И ПОДХОДАХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Лукьянова Елена Александровна, к.ф.-м.н., доцент
Дережа Алёна Владиславовна, аспирант
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
lukyanovaea@mail.ru, alena-dereza@mail.ru

Аннотация: В работе даётся краткий обзор некоторых современных техник и подходов, успешно применяемых в исследовании вопросов математического моделирования задач реального мира.

Ключевые слова: исследование процессов, математическое моделирование, сложные системы, модели Петри.

ABOUT SOME MODERN TECHNIQUES AND APPROACHES FOR COMPOUND SYSTEMS RESEARCH

Elena Lukyanova, PhD, Associate Professor
Alena Dereza, postgraduate student
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
lukyanovaea@mail.ru, alena-dereza@mail.ru

Abstract: The article is devoted to short review of some modern techniques and approaches, successfully applied to researching of mathematical modelling questions for real-world problems.

Keywords: process research, mathematical modeling, compound systems, Petri models.

В настоящее время, одним из основных направлений развития информатики является разработка параллельных и распределённых вычислений, что требует освоения новых технологий проектирования и создания моделей сложных кибернетических систем, а также методов их корректного и эффективного отображения. В связи с этим современное образование бакалавров и магистров информатики необходимо подразумевает мотивированное актуальностью рассматриваемых направлений исследований, изучение параллельных вычислительных систем и освоения современных моделирующих такие системы математических аппаратов, от выбора которых зависит адекватность отражения свойства системы и особенностей её поведения, т.е. качество моделирования системы. Необходимость изучения данного направления обусловлена так же широким спектром систем реального мира с параллельными и распределёнными вычислениями. Это, например, следующие системы:

- 1) интернет сервисы бронирования гостиниц и авиабилетов;
- 2) управленческие вопросы оптимизации медицинских процессов [4];
- 3) научно-исследовательский процесс создания новых композитных материалов [14],
- 4) разработка и проверка контроллеров для промышленных управляемых систем [7],
- 5) исследование существующих бизнес процессов на основе знания большого количества данных из журналов событий [2, 13],

- 6) решение крупномасштабных задач оптимизации с помощью генетических алгоритмов.

Как показывает практика, запрос на создание математических моделей в современных условиях возникает в двух основных случаях:

- I) на стадии проектирования некоторой крупномасштабной системы;
- II) при необходимости оптимизации или укрупнения уже работающей системы.

Соответственно, исходные данные и круг задач в этих двух случаях существенно различаются. Так первый случай подразумевает формализацию и детализацию структуры с желаемым результатом, а второй – построение адекватной модели по имеющимся масштабным данным, с последующим анализом возможных эффективных изменений. А это, значит, что сфера применения математического моделирования сложных кибернетических систем, таких как компьютерные сети, программы и операционные процессы, системы сбора и обработки информации, системы автоматического управления объектами и процессами, производственные процессы серьёзно расширяется.

Любая из упомянутых выше систем физически отражается своим функционированием, которое порождает процесс, представляющий собой организованную специальным способом (в том

числе и временем) совокупность реализаций событий и изменений условий. Множество всех реальных процессов, порождаемых системой, характеризует динамику поведения системы.

Эффективным математическим инструментом, реализующим систему как структуру, которая отражает все процессы, протекающие в системе, а также учитывает влияние временных характеристик, является аппарат сетей Петри. Процесс в сетях Петри характеризуется изменением условий, как следствие влекущие за собой осуществление последовательности событий. Отметим, что данный математический формализм является весьма наглядным и удобным и при изложении студентам информатикам учебного материала по алгоритмическому моделированию.

Рассмотрение предлагаемых сегодня техник в подходах исследований сложных систем проведем согласно случаям I – II.

Основным преимуществом случая I является удешевление создания и эксплуатации целевой системы за счет выявления проблемных зон еще на этапе математической модели. При таком рассмотрении, основной целью на этапе проектирования сложной системы, после формализации, является недвусмысленное структурирование всей информации причинно-следственными связями, и проверка возможности модели системы циклически и стабильно повторять требуемое поведение. К методам, анализирующим структурные свойства моделей, циклически повторяющих свое состояние, относятся алгебраические методы исследования сетей Петри с помощью линейных инвариантов. Линейные инварианты являются решением фундаментального уравнения сети Петри [10] и их наличие свидетельствует о необходимой живости и ограниченности модели. Также существует компонентный [8] подход по работе с формальными моделями Петри больших размеров, который прекрасно зарекомендовал себя в исследовании систем с однотипными и одинаковыми компонентами.

При проведении поведенческого анализа сетей Петри, т.е. для исследования процессов, протекающих в моделях, описанных сетями Петри, применяются различные методы, отличающиеся в зависимости от масштаба оперируемых данных: дерево состояний сети с листиками-разметками, эффективно только для небольших задач; а метод класса состояний успешно применяется для исследования более ёмких задач, сформулированных в терминах временных моделей Петри [5].

В случае II целевой акцент смещен на корректное отображение поведенческих свойств системы в модели и потому наиболее важными являются следующие две задачи:

1) *отображение процесса* – изучение построения модели процесса по примерному поведению системы, записанному в журнале событий;

2) *проверка соответствия* – диагностика и количественное оценивание несоответствий между наблюдаемым поведением и моделируемым поведением системы.

Исследуя результаты решения первой задачи по *отображению процесса*, можно выделить несколько основных сложившихся подходов:

а) задача синтеза – по данной поведенческой спецификации итеративно сконструировать интерпретированную сеть Петри, поведение которой будет совпадать со специфицируемым поведением моделируемой системы [11];

б) построение недетерминированного конечного автомата, аппроксимирующего язык исходной системы – события описываются словами, из которых пишется сценарий для построения модели Петри;

в) приложения целочисленного линейного моделирования для отображения интерпретированной сети Петри из данных наблюдаемых событий и вектора вывода, отражающего массив данных о результатах работы моделируемой системы.

Подходы а) – в) подробно описаны в работе [6], где рассматриваются их основные преимущества и особенности использования.

Для решения задачи *проверки соответствия* моделируемого поведения реальному процессу, активно используется декомпозиционный подход. Он основывается на идее разделения на маленькие задачи вычислительной требовательности задач исследования процесса, которые могут быть легко проанализированы и их результаты могут быть скомбинированы в решение исходной задачи.

Например, в работе [9] подход, использующий декомпозицию сохраняющую данные, применяется для значительного ускорения *проверки соответствия*. Для моделирования информационных переменных, контроллеров, и действий чтения/записи были задействованы сети Петри с данными. Проведённая в этой работе оценка на реальном случае обработки запроса получения кредита в банке показывает, что модели реальных процессов, сохраняющих данные, могут быть декомпозированы, в результате чего получается огромная экономия вычислительного времени.

Надо отметить, что задача *проверки соответствия* сохраняемых данных с одной стороны востребована, с другой в случае большого количества переходов сети Петри и переменных данных – трудна. В работе [2] представлен результат общей корректности, показывающий, что декомпозиция не влияет на вывод *проверки соответствия*. И предложено программное дополнение к уже существующей в свободном доступе среде моделирования бизнес процессов ProM. Приведены результаты экспериментов, показывающие существенность проведённых улучшений и их уместность в реальном бизнес окружении.

В работе [12] декомпозиционный подход описывается не только как принятый из-за своей эффективности инструмент исследования процессов с «большими данными», но и как достаточно общий метод, который может комбинироваться с различными существующими техниками исследования процесса *отображения и проверки соответствия*.

В работе [3] рассматривается применение декомпозиционного подхода, в том числе, и для решения первой из описанных задач – задачи *отображения* лучше читаемых моделей из журнала событий. В качестве примера в работе приведен процесс бронирования авиабилетов по интернету. На основе определённого знания о структуре журнала событий, рассматриваются отдельно регулярные и специальные случаи процессов выполнения: транзитивная система, соответствующая рассматриваемому журналу событий, декомпозируется на регулярную и специфическую части. Затем к полученным обеим частям применяется один из известных алгоритмов отображения. Далее, полученные модели комбинируются в одну модель единого процесса. Доказывается, что структурные и поведенческие свойства подмоделей наследуются объединённой моделью процесса.

Таким образом, при моделировании процессов функционирования объектов большой сложности возникает много проблем, требующих конкретных решений. В настоящей работе были рассмотрены, некоторые предлагаемые и применяемые сегодня, техники и подходы при решении задач моделирования, анализа и синтеза сложных систем. Знания о рассмотренных техниках и подходах будут полезны студентами информатикам. Предложенная систематизация поможет им лучше ориентироваться в большом объёме информации по данной тематике.

Список литературы

1. Антюхов А.В. Проектное обучение в высшей школе: проблемы и перспективы// Высшее образование в России. – 2010. – №10. – С. 26-29.
2. Andreas Rogge-Solti, Wil M.P. van der Aalst, Mathias Weske. Discovering Stochastic Petri Nets with Arbitrary Delay Distributions From Event Logs// Springer-Verlag, Berlin, – 2014. – P. 15-27.
3. Anna A. Kalenkova, Irina A. Lomazova, and Wil M.P. van der Aalst. Process Model Discovery: A Method Based on Transition System Decomposition.// Springer-Verlag, Berlin, – 2014 LNCS 8489. – P. 71-90.
4. Cristiano Bertolini, Zhiming Liu, and Jiri Srba. Verification of Timed Healthcare Workflows Using Component Timed-Arc Petri Nets// Springer-Verlag Berlin, LNCS 7789, – 2013. – P. 19-36.
5. Diaz M. Petri Nets: Fundamental Models, Verification and Applications// Wiley, 2009. – 656 p. – ISBN: 1848210795, 9781848210790.
6. Doyra Mariela Muñoz, Antonio Correcher, Emilio García and Francisco Morant. Identification of Stochastic Timed Discrete Event Systems with st-IPN// Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering. – 2014, Article ID 835312, 21p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/835312>.
7. Emad Abouel Nasr, Abdulaziz M. El-Tamimi, Abdulrahman Al-Ahmari and Husam Kaid. Comparison and Evaluation of Deadlock Prevention Methods for Different Size Automated Manufacturing Systems// Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering. -2015, Article ID 537893, 19 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/537893>.
8. E. Lukyanova Component modeling: on connections of detailed Petri model and component model of parallel distributed system// ITHEA. – 2013. – Vol. 2, №1. – P.15–22.
9. Massimiliano de Leoni, Jorge Munoz-Gama, Josep Carmona, Wil M.P. van der Aalst. Decomposing Alignment-based Conformance Checking of Data-aware Process Models // Springer-Verlag, Berlin. – 2014 LNCS 8841. – P. 3-20.
10. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications // Proceedings of the IEEE. – 1989. – Vol. 77. – № 4. – P. 541-580.
11. Robert Lorenz, Jorg Desel and Gabriel Juhas. Models from Scenarios// K. Jensen et al. (Eds.): ToPNoc VII, LNCS 7480. – 2013. – P. 314–371.

- 12.W. M.P. van der Aalst. Decomposing Petri Nets for Process Mining. A Generic Approach. // Erratum. – 2013, Distributed and Parallel Databases, 31(4). – P. 471-507.
- 13.W.M.P. van der Aalst, B.F. van Dongen. Discovering Petri Nets From Event Logs.// Springer Verlag, Berlin. – 2013, LNCS 7480. – P. 372-422.
- 14.Xiaomei Hu, Lei Zhao and Wenlong Li. Petri Net-Based R&D Process Modeling and Optimization for Composite Materials// Hindawi Publishing Corporation. Journal of Applied Mathematics. – 2013. Article ID 306704, 12 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/306704>.