

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ГРАФООРИЕНТИРОВАННЫХ ФОРМАЛИЗМОВ И ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК**

**Аннотация.** Работа посвящена методам моделирования сложных процессов в динамических системах на основе формализма сетей Петри и темпоральных логик. Обуславливается необходимость анализа временных зависимостей в подобных системах. Затрагиваются вопросы анализа и верификации разрабатываемых моделей.

**Ключевые слова:** модифицированные сети Петри; темпоральные модели; динамические системы, верификация систем.

Визуализация и моделирование процессов, протекающих в сложных распределенных системах (в частности, социальных сетях), а так же последующий анализ этих процессов – актуальные задачи, стоящие сегодня перед разработчиком. В общем случае подобные модели, в свою очередь, являются динамическими системами. Возможны различные способы интеграции подобных систем с математическим моделированием. В отличие от физической модели, которая материальна, математическая модель является логическим объектом. Подобный подход позволяет разрабатывать системы, опираясь на уже существующие теоретические выкладки, что существенно облегчает процесс. В зависимости от дальнейшего использования модели можно отнести к одному из следующих типов:

---

\* Королев Юрий Ильич – асп., м.н.с., korolevyu@gmail.com; ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва.

- функциональные модели, отображающие закономерности функционирования объектов и используемые при проектировании систем для исследования принципов их работы и характера протекающих процессов;
- структурные модели, отражающие структурные характеристики и используемые при конструировании систем в ситуациях, когда важными являются связи отдельных частей объектов между собой.

Очевидно, что гибридные модели, сочетающие особенности обоих перечисленных, могут обладать существенно большей выразительностью, что необходимо учитывать при выборе инструментов моделирования. Кроме того, для выявления структурных закономерностей системы необходимо добиться максимальной визуальной выразительности. Поэтому для дальнейших исследований в качестве базовой модели был выбран один из графоориентированных инструментов моделирования: сети Петри.

Важнейшей задачей при создании перспективных динамических систем является задача представления и оперирования временными зависимостями, т.е. задача построения эффективных моделей времени, на основе которых можно моделировать рассуждения с учетом фактора времени. Временные зависимости бывают двух типов [1]:

- количественные (метрические) – когда для представления времени используются количественные меры на временной оси;
- качественные – когда используется только относительное положение во времени событий или действий.

Учет временного фактора необходим при решении задач диагностики и мониторинга сложного объекта или процесса, планирования действий для достижения поставленной цели, прогнозирования последствий принимаемых решений, управления в реальном времени. Однако в настоящее время отсутствуют развитые средства представления качественных временных зависимостей в современных инструментальных средствах конструирования.

На кафедре прикладной математики Национального исследовательского

университета «Московский энергетический институт» проводятся исследования по разработке математического и программного обеспечения сложных динамических систем, в частности, интеллектуальных систем поддержки принятия решений. В качестве эффективного средства моделирования и анализа процессов предлагается использовать аппарат цветных сетей Петри реального времени с поддержкой темпоральной логики Аллена (РСП РВ ТЛА) [2]. Данный формализм позволяет адекватно моделировать как количественные, так и качественные временные зависимости. Использование сетей Петри подразумевает достаточно высокий уровень параллелизма, что, как и учет темпоральных зависимостей, требует наличия средств анализа и верификации моделей, созданных на его основе данного аппарата. В качестве основного инструмента анализа рассматриваются графы достижимости и покрытия [3].

Перспективным методом верификации РСП РВ ТЛА является *model checking* (проверка модели) МС [4]. Другие методы в общем случае не могут быть полностью автоматизированы, что негативно сказывается на возможности их применения. С другой стороны, исследования в области МС привели в последнее время к разработке очень эффективных алгоритмов верификации, позволяющих проверять реальные, разрабатываемые промышленностью программно-аппаратные системы. В качестве модели при этом используется структура Крипке, с помощью которой можно адекватно представить поведение реагирующих систем: дискретных систем управления, параллельных и распределенных алгоритмов, протоколов и т. п. Показано [5], что один из инструментов анализа РСП РВ ТЛА – граф покрытия – является структурой Крипке. Поэтому существует возможность автоматической верификации систем, разработанных на базе предложенного формализма; верификация РСП РВ ТЛА с помощью метода МС является естественным расширением начального анализа сетей с помощью графов состояний.

## Литература

1. Еремеев А.П., Троицкий В.В. Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Известия РАН. Теория и системы управления, 2003. № 5. 75-88 стр.
2. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Реализация интеллектуальных систем реального времени на основе сетей Петри с поддержкой темпоральных зависимостей // Программные продукты и системы. 2013. №3. 88-94 стр.
3. Szpyrka M. Modelling and Analysis of Real-Time Systems with RTCP-Nets // Petri Net, Theory and Applications. I-Tech Education and Publishing. 2008.
4. Карнов Ю.Г. Model Cheking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010.
5. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Анализ и верификация раскрашенных сетей Петри реального времени с поддержкой логики Аллена // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы IV Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, февраля 2014г.)/ редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.] Минск: БГУИР, 2014. 461-464 стр.

Yu.I. Korolev

## Basic Requirements to the Conference Abstracts

**Abstract.** The work is devoted to the modeling of complex processes in dynamic systems based on the formalism of Petri nets and temporal logics. The need to analyze temporal dependencies in such systems is emphasized. Questions of analysis and verification of the developed models are specified.

**Keywords:** modified Petri nets; temporal models; dynamic systems, system verification.