

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ КАК АППАРАТА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Скородумов Павел Валерьевич, к.т.н.

*Заведующий лабораторией интеллектуальных и программно-
информационных систем*

Институт социально-экономического развития территорий РАН

Доцент кафедры Автоматики и вычислительной техники

Вологодский государственный университет

Имитационное моделирование находит чрезвычайно широкое применение в сфере бизнеса и управления. Решения на его основе востребованы в отраслевых проектах, государственном и территориальном управлении, бизнес-планировании хозяйственных объектов [1].

Имитационное моделирование применяется в ERP, SCM, APS системах, инструментах анализа и оптимизации, в системах моделирования бизнес-процессов (BPMS), интегрированного планирования и управления цепями поставок, в интерактивных моделях ситуационных центров, методах сценарного планирования в системах поддержки принятия решений (DSS, EIS), в формировании стратегий в системах управления эффективностью бизнеса (BPM) [1].

Сущность метода имитационного моделирования заключается в математическом описании динамических процессов, воспроизводящих функционирование изучаемой системы [2].

Преимуществами имитационного моделирования являются [1]:

1. возможность описания сложных многоуровневых структур с множеством нелинейных обратных связей;
2. отражение динамических процессов и поведенческих аспектов, свойств динамичности внешней среды;
3. возможности представления и структуризации ментальных знаний экспертов по проблеме, проведения экспертных ревизий компьютерных моделей и их полная интерпретируемость на языке системных потоковых диаграмм и диаграмм причинно-следственных связей;
4. возможность выявления закономерностей, динамических тенденций развития и функционирования сложной системы в условиях неполной и неточной информации;
5. проигрывание различных ситуаций и вариантов решений, проведение сценарных расчетов на компьютерной модели;
6. описание взаимодействия и поведения множества активных агентов в социальных системах;
7. реализация принципов объектно-ориентированного проектирования и применение высокотехнологичных ИТ-решений в построении компьютерных моделей.

Имитационное моделирование включает в себя ряд основных этапов [3]:

1. Формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования.
2. Разработка концептуального описания.
3. Формализация имитационной модели.
4. Программирование имитационной модели.
5. Испытание и исследование модели, проверка модели.
6. Планирование и проведение имитационного эксперимента.
7. Анализ результатов моделирования.

Процесс формализации сложной системы (третий этап имитационного моделирования) включает выбор способа формализации и составление формального описания системы.

Цель формализации — получить формальное представление логико-математической модели, т.е. алгоритмов поведения компонент сложной системы и отразить на уровне моделирующего алгоритма взаимодействие этих компонент между собой [3]. Наиболее известные и широко используемые на практике концепции формализации: агрегативные системы и автоматы; сети Петри и их расширения; модели системной динамики.

Концепция структуризации (схема представления алгоритмических моделей) базируется на возможности представления моделируемых систем в виде совокупности параллельных процессов, взаимодействующих на основе синхронизации событий или распределения общих для нескольких процессов ресурсов. Каждый процесс в рамках этой концепции представляется в виде логически обусловленных не упорядоченных по времени причинно-следственных цепочек условий и событий [5].

В основе построения имитационных моделей лежат современные методы структуризации сложных систем и описания их динамики, при этом используются: сети кусочно-линейных агрегатов, сети Петри (СП), потоковые диаграммы и конечно-разностные уравнения системной динамики и др. [3].

Таким образом, СП и их расширения используются на этапе формализации и структуризации имитационной модели. Можно отметить следующие преимущества сетей Петри: наглядность, ясность и четкость представления, широкие возможности анализа.

СП являются мощным инструментом исследования моделируемых систем благодаря возможности описания многих классов дискретных, асинхронных, параллельных, распределенных, недетерминированных систем, благодаря наглядности представления их работы, развитию математическому аппарату анализа [4].

Несмотря на широкое распространение аппарата обыкновенных сетей Петри, существуют различные их модификации (расширения): элементарные, ингибиторные, раскрашенные, дискретно-непрерывные, гибридные, вложенные, нечеткие, нейронные и др.

Так раскрашенные СП позволяют моделировать системы с распределенными ресурсами, ингибиторные СП — позволяют проверять наличие нулевой разметки в позиции сети, дискретно-непрерывные и гибридные СП

предназначены для моделирования сложных систем, одновременно содержащих в себе компоненты дискретного и непрерывного поведения, вложенные СП позволяют исследовать системы сложной иерархической структуры. В тех случаях, когда исследуемые системы содержат процессы случайного характера либо отсутствуют достаточные, определенные знания о самой системе, применения находят нечеткие СП. Если необходимо создать модель «обучаемой» системы применяют аппарат нейронных СП.

Как видно спектр применения СП обширен, однако можно обратить внимание и на то, что каждая модификация применима только к определенному типу систем. Реальные системы одновременно обладают поведенческой и структурной сложностью, что приводит к необходимости использования различных расширений, либо построению отдельных моделей в терминах соответствующего аппарата.

Попытки объединить положительные стороны разных модификаций предпринимались, например в [6,8]. В первом случае был представлен аппарат вложенных гибридных СП, позволяющий моделировать сложные системы, в которых параллельно функционируют дискретные и непрерывные компоненты. Во втором случае аппарат объединял нечеткие и нейронные СП, что позволило моделировать процесс «обучения» системы с компонентами, поведение которых носит случайный характер.

Аппарат вложенных гибридных СП (ВГСР), объединяет в себе гибридные и вложенные СП, расширен за счет введения новых переходов квантования и экстраполяции, понятия веса дуги, ингибиторных, разрешающих и запрещающих дуг, модифицированных правил работы с ними. Все это делает его мощным и выразительным средством описания не только гибридных систем, но и различных математических формул и алгоритмов [6,7].

Математический аппарат нейроподобных СП (НСР), представляет собой конвергенцию нейронных сетей, маркированных цветных СП с ингибиторными элементами с методами обучения искусственных нейронных сетей [8]. НСР обладают очень важными свойствами, такими как накопление информации и способность к обучению по выбранному алгоритму на обучающих примерах или предыстории какого-либо процесса. Особенностью применения такого гибридного аппарата к построению моделей является возможность представления дискретных процессов детерминированной СП, а непрерывных процессов – искусственными нейронными сетями.

Разработка универсальных нотаций, инструментальных сред компьютерного моделирования и сценарного планирования, инновационные инструментальные информационно-аналитические решения на основе многоподходного имитационного моделирования, агентного моделирования, геоинформационных технологий, веб-сервисов и др. являются перспективными направлениями в области методологии, инструментария и применения компьютерного моделирования социально-экономических процессов и развития информационно-аналитического обеспечения систем поддержки принятия решений [1].

Рассмотренные выше модификации аппарата СП позволяют строить модели систем разного уровня сложности, учитывать поведенческую и структурную сложность компонент исследуемых систем, учитывать случайность протекающих в них процессов, анализировать возможность систем к обучению. Большое количество работ по анализу применения расширений, сочетающих в себе стороны различных модификаций аппарата СП, говорят об актуальности и перспективности использования СП в имитационном моделировании систем.

Предложенный аппарат ВГСП может быть положен в основу нового более общего расширения СП и построения универсальной системы имитационного моделирования на его основе. Наиболее перспективным будет использование в нем возможностей нейро-нечетких сетей. Их использование целесообразно в дискретных компонентах гибридной системы, оказывающих управляющее воздействие на непрерывную часть.

Список литературы

1. Лычкина, Н.Н. Динамическое имитационное моделирование развития социально-экономических систем и его применение в информационно-аналитических решениях для стратегического управления [Электронный ресурс]. URL: <http://strategybusiness.ru/dinamika-soczialno-ekonomicheskix-sistem/dinamicheskoe-imitaczionnoe-modelirovanie-razvitiya-soczialno-ekonomicheskix-sistem-i-ego-primenenie-v-informaczionno-analiticheskix-resheniyax-dlya-strategicheskogo-upravleniya.html>.
2. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
3. Ильин, А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. Тула, 2007. 121 с.
4. Мальков М.В., Малыгина С.Н. Сети Петри и моделирование [Электронный ресурс] // Труды Кольского научного центра. 2010. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/seti-petri-i-modelirovanie>.
5. Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Академия АйТи, 2005. 164с.
6. Скородумов П.В. Моделирование сложных динамических систем на базе вложенных гибридных сетей Петри // Системы управления и информационные технологии: научно-технический журнал. 2008. С. 182-187.
7. Скородумов, П.В. Моделирование технологических процессов на базе вложенных гибридных сетей Петри / П.В. Скородумов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Владимирский государственный университет. Вологда, 2009.
8. Суконщиков А.А., Крюкова Д.Ю. Нейроподобные сети Петри при моделировании социальных процессов // Программные продукты и системы. 2011. № 2 (94). С. 25-30.