

# МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СИТУАЦИОННОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. А. Суконщиков, канд. техн. наук

Вологодский государственный технический университет, г. Вологда, Россия

*Актуальность разработки методологии проектирования системы ситуационно-агентного моделирования (СИАМ) обуславливается тем, что СИАМ представляют собой новый класс систем моделирования. В статье рассмотрена методология проектирования системы СИАМ. Подробно описаны все этапы методологии, особое внимание уделено разработке этапа верификации полученных моделей СИАМ на базе расширений аппарата сетей Петри. Данная методология на практике уменьшает трудоемкость построения систем ситуационного моделирования.*

**Ключевые слова:** методология, ситуационное интеллектуально-агентное моделирование, верификация, корпоративные сети с поддержкой качества обслуживания, сети Петри.

В области создания интеллектуальных систем уже сложилась методология проектирования, включающая следующие основные этапы: идентификация, концептуализация, формализация, реализация, тестирование и отладка, внедрение [1]. Но для СИАМ существующие методологии построения интеллектуальных систем не являются адекватными. Необходимость разработки методологии проектирования системы СИАМ обуславливается тем, что:

- СИАМ представляют собой новый класс систем моделирования, являющийся комбинацией ситуационного и имитационного моделирования, расширений аппарата сетей Петри и многоагентных интеллектуальных систем (МАИС), основные этапы проектирования которых еще недостаточно проработаны;

- при идентификации таких систем возникает множество разнородных задач, связанных с интеллектуальными агентами (ИА), находящимися на разных уровнях иерархии ситуационного моделирования, что требует соответствующей классификации этих задач по уровням;

- на этапе концептуализации СИАМ необходимо выявить будущие ИА в распределенной среде и связать выявленные классы задач ИА;

- формальные модели системы СИАМ, структура баз знаний и методы логического вывода отличаются от традиционных экспертных систем.

Анализ существующих подходов к построению распределенных интеллектуальных систем, показал, что известные подходы, рассматриваемые по отдельности, не в состоянии решить весь комплекс задач построения СИАМ, поскольку отличаются в концептуальных установках, преследуемых целях и используемых математических моделях. Поэтому предлагается решать задачу создания методологии проектирования СИАМ, учитывающей достоинства обозначенных выше подходов, соответствующей заявленным концептуальным установкам и позволяющей автоматизировать основные этапы проектирования.

*Методология* — это система принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также

учение об этой системе. Методология конкретизируется применительно к различным сферам практической и теоретической деятельности, соответственно, их условиям и задачам. Специфика этих сфер предполагает разработку методов, адекватных изучаемым и преобразуемым объектам.

Если рассматривать СИАМ как специфическую область действительности, для которой строится соответствующая научная теория, то необходимо создавать и исследовать методологию, конкретизированную для данной сферы, в частности, методологию проектирования СИАМ.

Основными принципами развиваемой теории СИАМ являются:

- системность (анализ СИАМ как сложной системы во взаимосвязи представлений, понятий и характеристик);

- абстрагирование (выявление существенных характеристик понятий, компонентов и объектов предметной области). Принцип абстрагирования применяется при изложении концепции СИАМ и при построении моделей интеллектуальных агентов;

- иерархия (разделение системы по уровням абстрагирования). Данный принцип проявляется в разработке интеллектуальной и структурной иерархии компонентов СИАМ, в иерархическом способе построения методологии проектирования, устанавливающем иерархию моделей представления предметной области;

- единый математический аппарат формализации — интегрированные атрибутные сети Петри (ИАСП). Данный принцип позволяет построить формальные модели агентов на всех уровнях на одном математическом аппарате, который бы охватывал все этапы анализа, проектирования и реализации СИАМ, что позволяет легко связать модели и уменьшает трудоемкость проектирования моделей по сравнению со случаем применения разнородных аппаратов.

Рассмотрим более подробно задачи, решаемые на всех этапах разработанной методологии проектирования системы СИАМ (рис. 1).

На этапе *идентификации* определяются цели разработки, устанавливаются задачи, подлежащие решению, выявляются участники процесса проектирования, их роли и взаимоотношения, проверяется наличие экспертов, готовых и способных передать свои знания интеллектуальной системе, планируются необходимые ресурсы, категории и требования будущих пользователей.

На этапе *извлечения знаний* необходима вербализация и фиксация моделей предметной области, создаваемых экспертами [1]. На основе алгоритмов объектно-структурного анализа реализуются два этапа процесса извлечения и структурирования знаний:

глобальный анализ, включающий разбиение предметной области на страты всей изучаемой области, распределенной системы поддержки

принятия решений (СППР) для корпоративных сетей;

горизонтальный анализ, включающий построение многоуровневых структур по отдельным стратам.

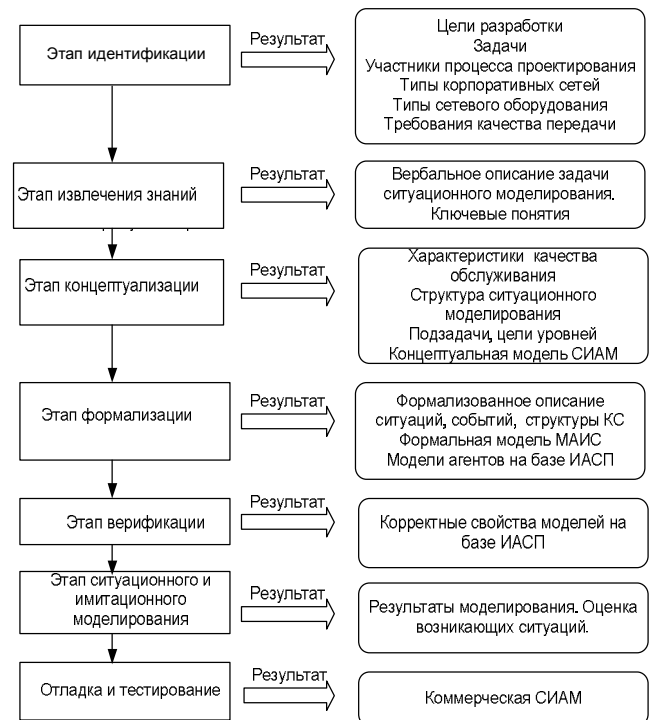


Рис. 1. Методология проектирования системы СИАМ

При этом на этапе извлечения знаний определяются:

ключевые понятия — ситуации, характеристики QoS, ситуационное, событийное, структурное моделирование, многоагентная интеллектуальная система;

общие характеристики предметной области, а также штатные, граничные и нештатные ситуации;

важнейшие объекты сети (коммутаторы, маршрутизаторы, серверы доступа и т. д.) и их обобщенные характеристики и взаимосвязи (топология сети).

На этапе *концептуализации* строится иерархическая модель предметной области, выполняется структурирование знаний по уровням, используемые стратегии; виды взаимосвязей между объектами предметной области; процессы, происходящие в исследуемой области, и ограничения, накладываемые на них; стратегии принятия решений и граничные условия этих стратегий. Определяются подзадачи: управление на одном объекте, на подсети, по одной характеристике качества обслуживания и т. д.

Этап *формализации* разделен на три шага для уменьшения ошибок при переходе от вербального описания предметной области к формальной модели.

На первом шаге формализации ключевые понятия и отношения, выявленные в процессе

концептуализации, выражаются в некотором формальном виде. При этом фиксируются определения типов ситуаций для объектов, сложных объектов, подсетей и сетей, формализуются основные понятия на структурном, событийном и ситуационном уровнях системы СИАМ. На основе построенного множества формальных моделей и их оценки делается вывод о релевантности полученного формального представления рассматриваемой предметной области и о возможности применения данных формальных моделей для последующей реализации на их базе интеллектуальных агентов на различных уровнях системы.

На втором шаге строится многоагентная интеллектуальная система для каждого уровня с учетом формальной теоретико-множественной модели, построенной на первом этапе, учитывающая задачи, определенные на этапе идентификации, и иерархическую структуру системы. На этом шаге определяются принципы внесения нечеткости в систему, формируются основные принципы построения нечетких продукционных правил для оценки возникающих ситуаций в системе и функционирования системы прогнозирования развития ситуаций и изменения контролируемых характеристик QoS.

На третьем шаге формализации строятся модели многоагентной интеллектуальной системы на базе математического аппарата ИАСП [2], которые позволяют работать с нечеткими данными и имеют возможность прогнозирования будущих значений. При этом модели на ИАСП соответствуют формальному описанию многоагентной интеллектуальной системы по иерархическим уровням системы СИАМ, определенным в предыдущей главе. Особо следует отметить построение агента выработки управляющих действий, реализующих нечеткие продукционные правила управления.

Следующий этап проектирования системы СИАМ — этап *верификации*, на котором производится проверка корректности построения моделей агентов на базе аппарата ИАСП. Этап верификации состоит из нескольких направлений, которые связаны с ролью агента в системе.

**Первое направление** верификации осуществляется для агентов оценки ситуаций, анализа событий, распределения ресурсов и взаимосвязи между агентами. Все эти агенты могут располагаться на различных уровнях системы.

**Второе направление** связано с агентом выработки управляющих действий, к нему тоже применима методология верификации первого направления, но для того чтобы нечеткие продукционные правила (НПП) хранить в базе знаний, необходимо определить граф достижимых состояний (ГДС) для каждого НПП (точнее конкретный путь решения в данном ГДС). Выбор НПП из базы знаний будет определяться начальной маркировкой, что соответствует усло-

виям для выработки конкретного управляющего действия.

**Третье направление** связано с агентом прогнозирования, который построен на базе нейронных сетей Петри (СП) и будет отличаться от этапа верификации для других агентов. На этом этапе происходит обучение агента прогнозирования на выборке определенной длины исходных данных, так как прогнозирование в корпоративных сетях является краткосрочным, то выборка небольшая. Обучение завершается тестированием правильности обучения агента.

На рис. 2 представлена общая методология верификации моделей агентов первого направления при проектировании системы моделирования, включающая восемь шагов. Прямоугольники двудольного графа отображают процедуры этапов проектирования, а овалы — входные и выходные данные соответствующего этапа. Процесс проектирования является итеративным и связан с многократным повторением как внутренних этапов, так и в контуре проектирования. Это определяет необходимость автоматизации не только процедур основных этапов методики, но и процедур перехода от одного этапа к другому.

Первый шаг верификации соответствует последнему этапу формализации агентов системы. Остальные шаги обеспечивают обнаружение различных ошибок и выбор системных параметров. На этапах 2—5 проводится анализ свойств корректности спецификации, который включает построение матрицы инцидентности, анализ свойств корректности спецификации, вычисление базовой системы инвариантов и анализ свойств корректности функций. При обнаружении ошибок проводится корректировка исходной формальной модели агентов.

На основе анализа матрицы инцидентности выявляются свойства корректности спецификации. Для анализа свойств корректности функций (живости, ограниченности, достижимости целей и отсутствия непроизводительных циклов) используется анализ базовой системы инвариантов по переходам и позициям матрицы инцидентности ИАСП агента. Основой анализа корректности функций является модифицированный для ИАСП алгоритм Фаркаса — вычисления системы инвариантов [1].

Множество выделенных в настоящее время свойств корректности моделей можно разделить на два подмножества  $Q = Q_S \cup Q_D$ . Свойства статической корректности  $Q_S$  включают пять элементов: полноту модели ( $Q_{S1}$ ), живость ( $Q_{S2}$ ), достижимость целей модели ( $Q_{S3}$ ), ограниченность ( $Q_{S4}$ ) и отсутствие непроизводительных циклов ( $Q_{S5}$ ). Подмножество свойств динамической корректности  $Q_D$  (самосинхронизация, завершаемость, отсутствие динамических блокировок и перегрузок) характеризует правильность построения модели элементов СИАМ [2].

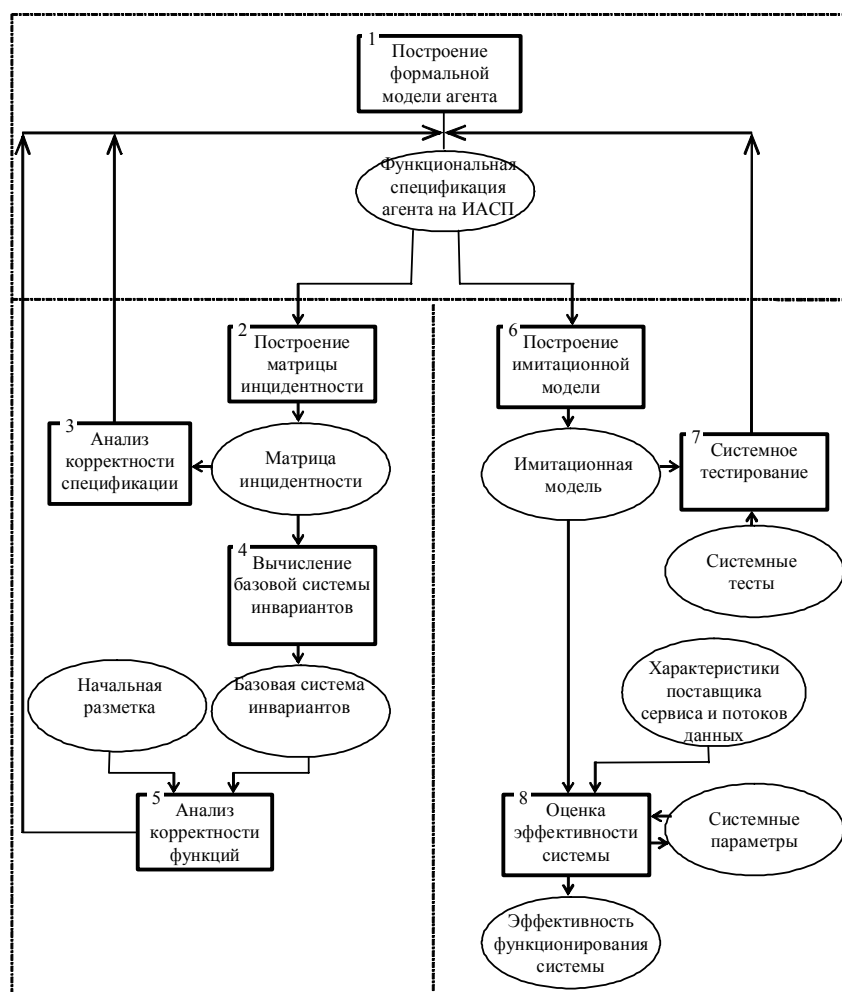


Рис. 2. Методология верификации агентов оценки ситуаций, анализа событий, распределения ресурсов и взаимосвязи между агентами

Этапы 6—8 методики проводятся методами имитационного моделирования. Анализ динамических свойств корректности (самосинхронизации, завершаемости, отсутствия динамических блокировок и перегрузок) проводится методом системного тестирования имитационной модели агента, включающей как его модель, так и комбинации внутренних характеристик агента и потоков информационных и управляющих данных от других агентов. Имитационная (статистическая) модель используется для выбора системных параметров, обеспечивающих максимальную эффективность функционирования агента.

Методика верификации агентов выработки управляющих действий базируется на основе построения ГДС, который является наиболее универсальным средством анализа свойств практически любого класса СП, а также является ориентированным графом, каждая вершина которого соответствует определенной маркировке интегрированной сети Петри, а дуга — переходу сети от одной маркировки к другой в результате срабатывания какого-либо перехода. Дуги графа помечены номерами этих переходов. Особенностью графа является то, что в нем не может

быть одинаковых вершин, т. е. вершин с одинаковыми маркировками.

Таким образом, граф достижимости (GD) представляется как

$$GD = \langle V, E \rangle,$$

где  $V$  — массив вершин (маркировок, соответствующих вершинам).

$$V = \{M_1, M_2 \dots M_q\},$$

$M_i$  —  $i$ -я маркировка;

$q$  — количество маркировок;

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$  — массив дуг, связывающих вершины ( $p$  — количество дуг).

Каждая дуга представляется как совокупность  $e_i = \{\alpha_1, \alpha_2, T\}$ , где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — номера начальной и конечной вершин графа;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  — массив переходов, соответствующий дуге;  $k$  — количество одновременно срабатывающих переходов при переходе от одной маркировки к другой.

Для построения полного графа предлагается алгоритм, состоящий из следующих шагов [3]:

1. За исходную берется маркировка  $M_0$  и ей присваивается метка "новая".

2. Для каждой "новой" маркировки выполняются следующие операции:

2.1. Для "новой" маркировки  $M_{\text{нов}}$  определяются все переходы, которые могут быть запущены, а также все возможные комбинации этих переходов.

2.2. Для каждого разрешенного перехода или комбинации переходов проводятся следующие действия:

2.2.1. Определяется маркировка  $M'$ , которая образуется при срабатывании данного перехода (комбинации переходов).

2.2.2. Просматриваются все маркировки на пути от  $M'$  к начальной  $M_0$ . Если на пути находится маркировка  $M''$ , элементы которой больше либо равны соответствующим элементам новой и которая не равна  $M'$ , то вместо элементов  $m'_i$ , которые больше, чем элементы  $m_i$  маркировки  $M_0$ , записывается символ " $\infty$ ". В массив  $E$  записывается дуга с соответствующими  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $T$ .

2.2.3. Просматриваются все маркировки графа. Если находится маркировка, равная новой, то в массив  $E$  записывается новая дуга, у которой  $\alpha_1 = \alpha_2$  и равны номеру найденной маркировки.

2.2.4. Если в пунктах 2.2 и 2.3 маркировки не найдены, то создается новая вершина графа, в которую записывается новая маркировка, в массив  $E$  записывается дуга, у которой  $\alpha_1$  равна номеру исходной маркировки,  $\alpha_2$  — номеру новой маркировки,  $T$  — набор переходов, срабатывание которых привело к переходу от одной маркировки к другой. Далее определяется массив всех разрешенных переходов и расчет продолжается, начиная с пункта 2.2.

Методология верификации моделей на базе нейронных СП состоит из двух этапов: на первом необходимо обучить нейронную СП на основе какой-либо выборки результатов, на втором — протестировать правильность обучения нейронной СП [4, 5].

На этапе ситуационного и имитационного моделирования происходит имитационное моделирование всей системы распределенной СППР, которая проектируется на данный момент. Для этого выбираем из библиотеки совокупность моделей агентов, которые должны быть в системе, устанавливаем взаимосвязи между ними, определяем характеристики, предельные значения, режимы обслуживания и проводим исследование поведения полученной имитационной модели распределенной СППР на те или иные ситуации или изменения характеристик  $QoS$ . Для этого должен быть составлен план исследования или на имитационной модели проверяем варианты выработки управляющего решения при возникновении сложной ситуации в реальной корпоративной сети.

На ситуационном уровне модели происходит оценка возникающих ситуаций при имитационном моделировании, выработка рекомендаций

для управляющих воздействий для ЛПР, определение нештатных ситуаций и их прогнозирование.

При моделировании физической структуры корпоративной сети можно выделить следующие основные структурно-функциональные элементы: рабочий узел, коммуникационный модуль (коммутатор или маршрутизатор), канал и поток. Поток — последовательность пакетов, движущихся от источника  $A$  в пункт назначения  $B$  ( $C$ ), каждый из которых может быть однозначно идентифицирован по 16-байтной комбинации из первых 64 байт IP-заголовка и/или заголовка TCP/UDP (номер порта приложения) [2].

При использовании аналитического подхода для получения нужных характеристик системы применяется рекурсивный метод иерархической структурной декомпозиции. Данный метод состоит из следующих этапов [2]:

- разложение системы на составляющие ее подсистемы (структурная декомпозиция);
- определение связей между полученными подсистемами;
- построение зависимостей характеристик системы от характеристик ее подсистем (композиция).

Одной из актуальных проблем общей теории систем является разработка методов исследования систем в условиях неопределенности. Трудности, связанные с решением этой проблемы, обусловлены целым рядом факторов, к которым следует отнести в первую очередь следующие:

наличие большого числа взаимосвязанных подсистем (элементов) со сложными структурными и функциональными отношениями между ними;

жизнедеятельность отдельных подсистем (элементов) не носит самостоятельный характер и обусловлена ее местом в системе в целом;

функционалирование отдельных подсистем (элементов) происходит асинхронно, правила взаимодействия их описываются логическими условиями;

неопределенность поведения отдельных подсистем может носить как вероятностный, так и нечеткий характер.

Предлагаемая методика анализа обработки потоков трафика в СИАМ с различными требованиями к качеству обслуживания состоит из следующих компонентов [2]:

1. Составление структуры исследуемой системы — эксперт создает структуру исследуемой корпоративной сети.

2. Получение моделей элементов с помощью нечетких атрибутивных сетей Петри — представление элементов сети моделями, построенными в НАСП.

3. Задание экспертных оценок по моделям элементов — эксперт в ходе диалога дает экспертные оценки параметров подсистемам элементов сети.

4. Задание экспертных оценок по генерации потоков данных каждой станцией в рассматриваемой сети с обязательными атрибутами: вид потока, адресат (адресаты) и др. для получения нечеткого распределения генерируемого трафика в любой момент времени. Определение требований к качеству обслуживания для всех потоков в информационной сети.

5. Определение связей между полученными подсистемами путем оценки каналов связи и определение маршрутов передачи.

6. Предварительное упрощение полученной сети (стягивание графа) — идет упрощение подсистем элементов сети и структуры сети.

7. Расчет потоков в информационной сети с помощью классического потокового алгоритма Форда—Фалькерсона позволяет рассчитать распределение загруженности каналов передачи без учета обработки трафика в коммуникационных узлах.

8. Последовательное моделирование обработки потоков в каждом элементе (узле) сети с последующей корректировкой результатов предыдущего пункта.

9. Сопоставление результатов моделирования с требованиями к качеству обслуживания.

10. Вынесение рекомендаций к изменению структуры сети, разбиению потоков на классы, замене отдельных элементов на менее дорогие, но более производительные. Данный модуль выполняется экспертной системой, основанной

на базе правил. Входными данными служит сравнение результатов моделирования с требованиями к качеству обслуживания потоков трафика в вычислительной сети. Перебор и обработка правил производится в направлении "от фактов к цели" [1, 2].

На этапе отладки и тестирования устраняются выявленные недостатки и система ситуационно-агентного моделирования для данной СППР корпоративной сети принимается в эксплуатацию.

#### Литература

1. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2003. — 318 с.
2. Суконщиков А. А. Методы и модели анализа сетей АСУ с поддержанием качества обслуживания. — Вологда: ВоГТУ, 2007. — 139 с.
3. Вережкин А. П. Разработка логических алгоритмов для целей реализации на микроконтроллерах/А. П. Вережкин, О. В. Кирюшин//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 11. С. 12—16.
4. Суконщиков А. А. Нейронные сети Петри для решения задачи поддержки качества обслуживания в сетевых устройствах/А. А. Суконщиков, Д. Ю. Крюкова//Системы управления и информационные технологии. 2008. № 4 (34). С. 16—20.
5. Суконщиков А. А., Крюкова Д. Ю. Системы поддержки принятия решений на базе аппарата сетей Петри//Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 3. С. 45—49.

## DEVELOPMENT METHODOLOGY OF THE SITUATION INTELLIGENT-AGENT MODELLING

A. A. Sukonshchikov

Vologda State Technical University, Vologda, Russia

*Urgency of the situation intelligent-agent modelling development methodology is caused by the fact that SIAM presents a new class of modelling systems. Methodology of SIAM system development is considered in this article. All the methodology stages are described into details, special attention is paid on the development of the verification stage of the received SIAM models on the basis of the apparatus Petri network expansion. In practice, the given methodology reduces labor intensity while developing situation modelling system.*

**Keywords:** methodology, intellectual-agent situational modelling, verification, corporate networks with support of quality of service, Petri networks.

Суконщиков Алексей Александрович, доцент кафедры автоматизации и вычислительной техники. Тел. (8172) 72-46-46 доб. 127. E-mail: avt@vstu.edu.ru

