# ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕКЛАРАТИВНОГО ОПИСАНИЯ АГЕНТОВ

А.И. Павлов, А.Б. Столбов (Иркутск)

#### Введение

Разнообразие структуры и поведения моделируемых объектов реального мира в зависимости от задач исследования обусловливает высокую сложность автоматизации процесса разработки имитационных моделей, в том числе агентных, поэтому в большинстве современных инструментальных средств моделирования данный процесс осуществляется путем написания кода на императивном языке программирования с невысоким уровнем автоматизации. В работе авторов [1] был предложен подход к обеспечению поддержки пользователя в процессе создания агентных имитационных моделей сложных систем. Особенностью предложенного подхода является его нацеленность на обеспечение специалистов-предметников, не имеющих существенных навыков программирования, возможностью создания имитационных моделей на основе информации из концептуальной модели предметной области, а также использования формализма продукционных правил и парадигмы визуального программирования для описания поведения элементов модели (агент, ресурс, среда). Для реализации предложенного подхода была разработана концептуальная архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем [2].

Целью данной работы является описание промежуточных результатов, полученных в процессе реализации архитектуры системы. В частности, приводится более подробное описание последовательности этапов процесса разработки модели, а также рассмотрены разработанные к настоящему времени модули системы поддержки: подсистема создания концептуальной модели; подсистема визуального конструирования баз знаний продукционного типа; подсистема реализации агентов в среде моделирования Madkit [3].

#### Основные этапы процесса разработки агентной модели

Эффективность применения инструментария имитационного моделирования зависит от способности исследователя сформулировать задачу и описать способ ее решения. В рамках применяемого подхода целевым пользователем системы является специалист-предметник, не владеющий навыками программирования. Поэтому неизбежно появляются определенные ограничения на способы описания элементов модели (агент, ресурс, среда). Во-первых, формулировка задач должна осуществляться с помощью использования содержательной терминологии, что в свою очередь определяет необходимость явного применения концептуальной модели исследуемой области в процессе проектирования агентной модели. Во-вторых, для описания закономерностей исследуемой области целесообразно использование интуитивно понятных инструментов: продукционных правил и элементов визуального программирования. С учетом указанных ограничений процесс проектирования агентной модели можно представить виде следующих основных этапов.

1. Разработка концептуальной модели исследуемой области. Результатом данного этапа является концептуальная модель, включающая формальное описание понятий, их свойств, отношений между ними, а также вычислительных

- процедур, реализующих известные закономерности исследуемой области, которые могут быть использованы в процессе моделирования.
- 2. Постановка задачи имитационного моделирования. Результатом данного этапа является начальное описание разрабатываемой имитационной модели, включающее название, описание и перечень понятий концептуальной модели, которые в дальнейшем будут использованы в качестве агентов или ресурсов имитационной модели.
- 3. Проектирование среды. Результатом данного этапа является структура, описывающая наблюдаемые агентами параметры внешней среды, а также набор ограничений, которые среда налагает на действия агентов (взаимодействия между агентами, доступ к ресурсам и т.д.). Предполагается, что ограничения формируются в виде продукционной базы знаний.
- 4. Проектирование агента. Результатом данного этапа является описание типа архитектуры агента, сенсорной функции, способов взаимодействия с другими агентами, а также продукционная база знаний, описывающая поведение определенного класса агентов модели.
- 5. Спецификация модели для вычислительного эксперимента. Результатом данного блока является количество агентов каждого класса в текущем эксперименте, начальные значения свойств агентов, параметров среды и другие исходные данные для моделирования (критерии оценки результатов моделирования).
- 6. Программная реализация имитационной модели. Результатом данного этапа является программная система, позволяющая проводить рабочие расчеты и представлять результаты моделирования.

Последовательность определяет список основных задач, которые должна решать разрабатываемая система поддержки проектирования агентых моделей. Для реализации первого этапа используется подсистема создания концептуальной модели. Подсистема визуального конструирования баз знаний продукционного типа применяется на этапах 3 и 4, а подсистема реализации агентов в среде моделирования Madkit – на этапе 6. Далее данные подсистемы описываются более подробно.

## Подсистема создания концептуальной модели

Данная подсистема реализована в виде web-приложения и обладает следующей функциональностью: создание концептуальных моделей исследуемых областей, создание перечня возможных свойств понятий, формирование иерархической структуры понятий концептуальных модели от абстрактных к более конкретным, определения свойств понятий и отношений между ними. При этом описание отношений осуществляется путем построения набора семантических сетей, вершинами которых являются понятия концептуальной модели, а связями отношения между ними. Каждая из семантических сетей поясняет отдельный аспект моделируемой области. Результат применения подсистемы для описания модели деградационного процесса [4] представлен рис. 1.

Также имеется возможность ввода информации о вычислительных процедурах, реализующие известные математические модели исследуемой области, которые могут быть использованы в процессе моделирования. Несмотря на наличие редакторов, обладающих схожей функциональностью, например редактора Protégé, было принято решение о разработке данной подсистемы ввиду приблизительно одинаковых трудозатрат на интеграцию модулей работы с форматами OWL или RDF и программой реализации данной подсистемы. Кроме того, обеспечение коллективной работы с

концептуальной моделью более эффективно реализуется в случае использования СУБД, а не XML файла. Для хранения информации концептуальных моделей используется база данных следующей структуры (рис. 2).

Подсистема визуального конструирования баз знаний продукционного типа

Данная подсистема реализована в виде web-приложения и обладает следующей функциональностью: создание баз знаний для выбранной концептуальной модели, формирование перечня шаблонов фактов на основе существующих понятий концептуальной модели, визуальное конструирование правил вида «ЕСЛИ условия ТО действия» (рис.3); ввод начальных условий для запуска процедуры логического вывода; генерацию и тестирование кода базы знаний на языках Jess, Clips, Cool. В рамках системы предложена графическая схема отображения правил. В настоящее время при конструировании правил можно использовать условия следующего вида: наличие факта указанного шаблона, ограничение на значение слота факта (текст, число), сравнение значения слота с существующим фактом, сравнение со значением слота другого факта. Для формирования правой части правила используются следующие виды действий: создание нового факта, модификация существующего факта, удаление факта, вызов внешней процедуры.

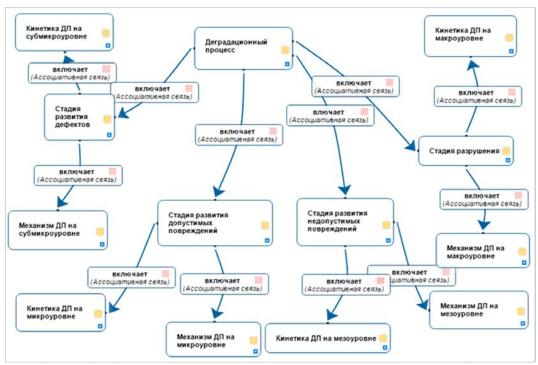


Рис. 1. Пример семантической сети «Развитие деградационного процесса»

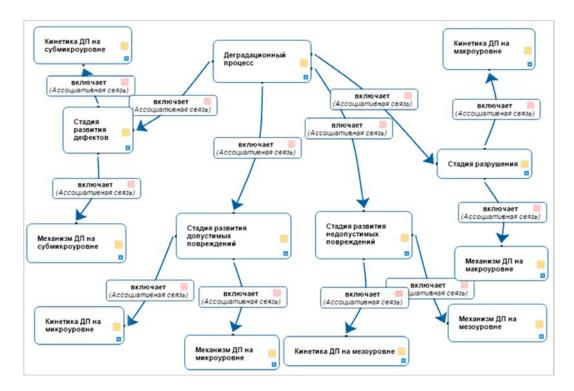


Рис. 1. Пример семантической сети «Развитие деградационного процесса»

Генерация кода может быть осуществлена как для базы знаний в целом, так и для отдельных ее элементов (шаблон факта, правило, описание начальных условий). Для тестирования кода базы знаний используется специальный терминал, обеспечивающий возможность редактирования сгенерированного кода и его выполнения с помощью интерпретатора Jess. Терминал обеспечивает отображение результатов логического вывода: состояние рабочей памяти, список сработавших правил, сообщения об ошибках.

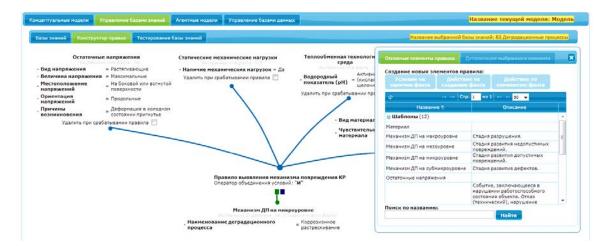


Рис. 3. Пример конструирования правила

Для хранения информации баз знаний используется СУБД PostgreSQL. Серверная часть включает в себя генератор кода, реализованный на языке PHP, и блок интерпретации, обеспечивающий доступ к машине вывод. Блок интерпретации реализован в виде web-service'а на языке Java, который обеспечивает доступ к системе Jess

## Подсистема реализации агентов в среде моделирования Madkit

Данная подсистема обеспечивает автоматическое создание программных объектов Java, которые обеспечивают программную реализацию агентов имитационной модели. Реализация агентов осуществляется с помощью специального базового класса (далее *типовой агент*). Применение типового агента обеспечивает унификацию процесса создания агентов, а также возможность декларативного определения состояния и поведения агентов. Типовой агент обладает следующей структурой:

- блок состояния, описывающий свойства агента и содержащий значения этих свойств в некоторую единицу модельного времени. Причем свойства имеют объектно-ориентированную структуру;
- блок поведения, описывающий закономерности изменения состояний агента (стратегию поведения), в котором выделяются блоки, ответственные за обработку разных типов информации:
  - декларативный блок, содержащий стратегию поведения агента, формализованную в виде знаний, представленных продукционными правилами, прецедентами и др.;
  - императивный блок, содержащий информацию, представленную в виде программной реализации расчетных процедур, используемых в процессе логического вывода

Реализация типового агента осуществлена на основе класса «Абстрактный агент» системы Madkit.

#### Выводы

Формализация процесса проектирования агентной модели является обязательным элементом для разработки системы поддержки проектирования агентых моделей. Помимо определения основной функциональности разрабатываемой системы, полученная последовательность этапов является основой для построения алгоритма поддержки действий пользователя при формировании агентной модели от этапа концептуального описания исследуемой области до ее программной реализации. Отличительной особенностью предложенного варианта формализации процесса проектирования является явное включение этапа создания концептуальной модели исследуемой области.

Программная реализация подсистемы создания концептуальной модели обеспечивает пользователей системы возможностью создания согласованной концептуальной модели сложной системы. Полученные модели в дальнейшем будет использованы в качестве единой спецификации объектов и процессов исследуемой области для построения логических моделей хранения данных, формирования баз знаний и имитационных моделей.

Программная реализация подсистемы визуального конструирования баз знаний продукционного типа обеспечивает пользователей системы возможностью создания баз знаний с помощью визуального конструирования, а не написания кода. Следует отметить, что в настоящее время при создании базы знаний используется ограниченное

подмножество используемого языка представления знаний (Jess, Clips), т.к. необходимо было обеспечить некоторый компромисс между выразительной силой и сложностью устройства логической модели базы данных для хранения элементов базы знаний, а также генератора кода. В дальнейшем возможно постепенное увеличение набора доступных условий и действий, а также обеспечение использования машины вывода Clips.

С помощью подсистемы реализации агентов в среде моделирования Madkit был апробирован предложенный подход к автоматизации программной реализации агентов имитационной модели. В данной реализации обеспечена возможность создания реактивных агентов, без построения плана действий. В дальнейшем предполагается осуществить оценку быстродействия генерируемых агентных моделей, а также совершенствование архитектуры типового агента с целью обеспечения возможности реализации агентов с более сложным поведением.

Работа частично поддержана грантами РФФИ №14-07-31298 «Система поддержки проектирования интеллектуальных агентов для имитационных моделей сложных систем на основе интеграции императивных и декларативных методов описания поведения агентов» и РФФИ №15-07-05641 «Разработка принципов, моделей и методов создания и поддержки интеллектуальных мультиагентных систем для прогнозирования техногенных чрезвычайных ситуаций».

## Литература

- 1. Столбов А.Б., Павлов А.И. Разработка системы поддержки проектирования имитационных моделей сложных систем на основе декларативного метода описания агентов // Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. теория и практика» ИММОД-2013 (21-23 октября 2013 г., С-Петербург). 2013. С. 267-270.
- 2. Павлов А.И., Столбов А.Б. Архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем // Программные продукты и системы. 2015. № 109. С. 12-16.
- 3. The Multiagent Development Kit [Электронный ресурс] / Fabien Michel, Jacques Ferber, Olivier Gutknecht. Электрон. дан. 2015. Режим доступа: http://www.madkit.org/, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ., фран.
- 4. Николайчук О.А. Павлов А.И. Юрин А.Ю. Система имитационного моделирования динамики состояний сложных технических систем на основе агентного подхода // Автоматизация в промышленности. -2010.-N27. -C.44-48.