

УДК 004.8:004.9

ФОРМАЛЬНЫЕ СПЕЦИФИКАЦИИ АКТИВНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ БИЗНЕС-СРЕДЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ

А.В. Маслобоев

Для реализации мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности разработаны акторные модели функционирования программных агентов в виртуальной бизнес-среде развития инноваций. Модели представляют собой формальную спецификацию агентов системы. Предложено унифицированное описание моделей и алгоритмов функционирования агентов различных типов субъектов инноваций в терминах концептуальной модели мультиагентной виртуальной бизнес-среды. Комбинирование различных парадигм моделирования в акторных моделях обеспечило унифицированное описание процессов взаимодействия агентов в виртуальной бизнес-среде, что упрощает программную реализацию процедур обработки концептуальной модели и дает возможность более «тонкой» настройки агентов на условия конкретной задачи.

Ключевые слова: концептуальное моделирование, мультиагентная система, информационная поддержка, инновационная деятельность, виртуальная бизнес-среда.

Введение

Развитие инновационной деятельности является одним из путей преодоления последствий мирового экономического кризиса как на национальном, так и на региональном уровне. Поэтому научные исследования, направленные на совершенствование управления инновационными процессами, имеют высокую практическую значимость. В настоящее время задача создания информационной инфраструктуры поддержки инновационной деятельности не ограничивается простым накоплением все больших и больших объемов информации. Для реализации потенциала инновационного развития необходимы методы и средства обработки информации, направленные на автоматизацию различных аспектов инновационной деятельности, на облегчение и повышение эффективности анализа результативности инноваций. Эффективным средством решения подобных задач, согласно [1], является представление экспертных знаний о предметной области в виде формализованных концептуальных моделей и онтологий, а также имитационное моделирование инновационных процессов. Для этого необходимо создать соответствующие проблемно-ориентированные модели и информационные технологии.

В работе предложены формальные спецификации (акторные модели) активных программных компонентов мультиагентной виртуальной бизнес-среды развития инноваций. Интеграция различных парадигм моделирования в акторных моделях обеспечивает возможность создания унифицированного описания агентов и процессов их самоорганизации в открытых одноранговых проблемно-ориентированных системах информационно-аналитической поддержки.

Структура мультиагентной виртуальной бизнес-среды развития инноваций

Компонентами информационной среды развития инноваций являются, во-первых, открытый, расширяемый и доступный широкому кругу субъектов инновационной деятельности пул информационных ресурсов инноваций, во-вторых – методы и программно-технические средства полной или частичной автоматизированной обработки этих

ресурсов. Эти два компонента образуют верхний уровень информационной среды развития инноваций – виртуальную бизнес-среду (ВБС) инновационной деятельности. В терминах информационных систем виртуальная бизнес-среда представляет собой проблемно-ориентированную надстройку над базовой информационно-коммуникационной инфраструктурой. Последняя при этом обеспечивает эффективные информационные коммуникации, централизованные или распределенные хранение и доступ к данным, тогда как в рамках ВБС осуществляется проблемно-ориентированная обработка информации, решение задач, сформулированных в терминах предметной области.

В условиях распределенности и открытости информационной среды инноваций особенную важность приобретает задача обеспечения единого структурного представления такой среды. Эту задачу позволяет решить агентно-ориентированная концептуальная модель виртуальной бизнес-среды (КМ ВБС) [2]. Модель определяет состав и взаимосвязи элементов ВБС, а также обеспечивает базу для формализованного описания инновационных предложений с целью их последующего использования в процессе автоматизированного синтеза и анализа инновационных структур. Агентная ориентированность выражается в том, что в модель явно включено формализованное описание программных агентов, представляющих в виртуальной среде реальных участников инновационных бизнес-процессов.

Формальная модель интеллектуального агента в терминах КМ ВБС

Агенты (акторы) в концептуальной модели виртуальной бизнес-среды развития инноваций представляют интересы субъектов инноваций S и характеризуются множеством инновационных предложений – BI , которые они представляют в виртуальной среде, множеством базовых организационных структур – ORG^A , соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов, и внутренней структурой – C^A , описывающей функциональное устройство агента:

$$A = \{S, BI, ORG^A, C^A\}.$$

Организационная структура актора формально описывается в виде

$$ORG^A = \langle G^A, RL^A, CP^A, ACT^A, STR^A, L, ST, SL, T \rangle,$$

где G^A – дерево целей агента, которые он должен достичь для решения поставленной перед ним задачи; RL^A – множество ролей агента, в которых он должен выступать для достижения соответствующих целей; CP^A – множество навыков и способностей агента, которыми он должен обладать для исполнения соответствующей роли; ACT^A – множество действий; STR^A – множество стратегий поведения агента в направлении достижения соответствующих целей, причем $G^A \equiv G^S$, $RL^A \equiv RL^S$, $CP^A \equiv CP^S$, $ACT^A \equiv ACT^S$ и $STR^A \equiv STR^S$; L – множество языков; ST – множество состояний агента; SL – множество законов (правил) и ограничений функционирования агента, причем ограничение задается парой $\langle act, \varphi \rangle$, закон sl есть множество ограничений $\langle act_i, \varphi_i \rangle$, $\forall act_i \in ACT, \varphi_i \in L, st \models \varphi$; T – обобщенная функция переходов $T: ST \times ACT \times SL \rightarrow 2^{ST}$, удовлетворяющая следующим условиям: а) для любых $st \in ST, act \in ACT, sl \in SL$, если состояние st удовлетворяет ограничению φ , $st \models \varphi$, и пара $\langle act, \varphi \rangle \in sl$, то $T\langle st, act, sl \rangle = \varphi$; б) для любых $st \in ST, act \in ACT, sl_1 \in SL, sl_2 \in SL$, если $sl_1 > sl_2$, то $T\langle st, act, sl_1 \rangle \subseteq T\langle st, act, sl_2 \rangle$.

Все агенты системы используют для взаимодействия друг с другом и построения общих и локальных планов действий иерархическую систему языков:

$$L = \langle L_0, L_1, L_2 \rangle,$$

где L_0 – язык исполнительного уровня (определяется используемыми сетевыми сервисами); L_1 – язык локального планирования, предназначенный для построения плана действий агента; $L_2 = \langle L_2^S, L_2^A \rangle$ – язык составления общих планов и взаимодействия с другими агентами; L_2^S – язык взаимодействия участников бизнес-процессов, а $L_2^A = \langle cmd, rep, lang \rangle$ – язык взаимодействия участников бизнес-процессов и их агентов; cmd – язык запросов (управления агентом), rep – форматированные результаты работы, $lang$ – язык взаимодействия агентов (*ACL – agent communication language*);

Внутренняя структура агента (актора), определяющая его функциональное устройство, описывается в виде $C^A = (K, M, P, R, I, C)$, где K – ментальная подсистема; M – подсистема моделирования (имитационный аппарат – комплекс системно-динамических моделей, с помощью которого агент становится способным прогонять внутри себя сценарии развития инновационных процессов и поведения конкурентов с целью прогнозирования рисков и экономического эффекта от капиталовложений в инновации); P – подсистема анализа и планирования; R – реактивная подсистема; I – подсистема координации и взаимодействия; C – подсистема коммуникаций.

Акторные модели функционирования интеллектуальных агентов в ВБС

На сегодняшний день одной из практических задач построения открытых много-агентных систем, согласно [3], является формализация и спецификация агентов и МАС, а также разработка моделей и методов коммуникации (диалога) агентов и средств унифицированного описания их поведения и поддержки миграции по сети. Для формализации и спецификации агентов, а также для унифицированного описания процессов их взаимодействия в МАС используются различные научные парадигмы: концептуальное моделирование [2], автоматный подход [4], аппарат нечетких отношений [5], логическое [6] и алгебраическое программирование [7], теория рефлексивных игр [8].

В теории агентов актор – это агент, обладающий некоторым поведением и имеющий свой почтовый ящик в сети как средство коммуникации с другими агентами системы (обмен сообщениями) [5]. В настоящей работе под актором понимается сущность, выполняющая заданную роль в системе. Роль актора в системе определяется типом и текущими целями участника инновационного процесса (инноватора, инвестора, производителя и т.д.), которого представляет актор. Каждой роли соответствует своя модель функционирования (модель поведения). Акторы (активные агенты) в концептуальной модели виртуальной бизнес-среды развития инноваций задаются множествами, включающими идентификаторы субъекта инноваций и ассоциированными с его текущей ролью в системе инновационными предложениями, структурированными наборами целей и функций.

Тип (роль) агента субъекта инноваций определяется набором функций $F = \{f_i\}, i = \overline{Q}$, которые он выполняет в системе, $g : RL^A \rightarrow F$. Множество действий агента, $ACT^A = \{act_i^a\}, i = \overline{D}$, называется планом действий агента. План действий агента определенного типа в конкретной ситуации образует стратегию поведения актора в системе, которую он должен реализовать для достижения поставленных перед ним це-

лей – например, поиск партнеров по бизнесу при заданных условиях и (или) формирование экономически эффективных инновационных структур, и зависит от его текущего состояния. Каждое действие агента представляет собой набор примитивных операций – $act_i^a = \{opr_j^a\}, i \in I, j \in J$.

Состояние i -го агента зависит от состояния среды функционирования $ST_{E_{BBC}}$ и состояния других агентов системы, которые оцениваются им с помощью подсистемы имитационного моделирования (имитационного аппарата):

$$v: ST_i^A \rightarrow ST_j^A \times ST_{E_{BBC}}, i = \overline{1, R}, j = \overline{1, W}, i \neq j.$$

Поведение агента определяется его текущим состоянием ST^A , ролью (типом) агента в системе RL^A , набором действий, которые агент может выполнять, ACT^A , состоянием внешней среды $ST_{E_{BBC}}$, состоянием окружения (других агентов), целью агента G^A в текущий момент времени T и условиями $W(\bar{x})$, при которых актор изменяет свое состояние:

$$u_i^a = f_i(st_i^a, rl_i^a, act_i^a, ST_{E_{BBC}}, g_i^a, W(\bar{x}), R(\bar{y})), i \in N,$$

где $RL^A = \{rl_j^a\}, j = \overline{1, L}$ – множество типов агентов в системе; $ST^A = \{st_j^a\}, j = \overline{1, M}$ – множество состояний агента (определяется на основе анализа параметров модели среды и моделей поведения других агентов); $ACT^A = \{act_j^a\}, j = \overline{1, D}$ – множество действий, которые выполняет агент, находясь в определенном состоянии; $G^A = \{g_j^a\}, j = \overline{1, P}$ – множество целей агента; $R(\bar{y})$ – результат выполнения плана действий или функций поведения актора.

Тогда формализованное представление поведения агентов для разных типов субъектов инноваций в терминах КМ ВБС в виде акторной модели (рис. 1) выглядит следующим образом:

$$AM = \{u_i\}, i \in N,$$

где $u_i^a = f_i(st_i^a, rl_i^a, act_i^a, ST_{E_{BBC}}, g_i^a, W(\bar{x}), R(\bar{y})), i \in N$ – множество функций поведения агента определенного типа.

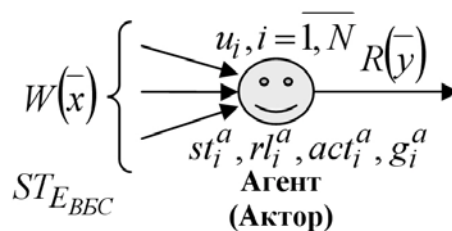


Рис. 1. Акторная модель агента субъекта инноваций определенного типа

Условия $W(\bar{x})$, при которых акторы изменяют свое состояние, определяются внешними по отношению к акторам характеристиками экономической среды развития инновации. К ним относятся макроэкономические, региональные и отраслевые факторы: темпы роста экономики страны (ВВП и ВНП), уровень инфляции, инвестиционный климат в регионе, уровень безработицы, уровень доходов населения, уровень развития инфраструктуры региона, уровень конкурентной борьбы, деловая репутация бизнес-структур и т.д. Анализ и оценка данных характеристик осуществляется на основе ком-

плекса имитационных моделей базовых компонентов социально-экономической системы региона и инструментальных средств моделирования, разработанных научным коллективом Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН.

Результатами выполнения плана действий или функций поведения акторов $R(\bar{y})$ могут быть, например: (1) множество подходящих для сотрудничества бизнес-партнеров, удовлетворяющих критериям поиска; (2) множество сформированных эффективных инновационных структур для реализации конкретного бизнес-предложения; (3) значения основных экономических показателей инновационных проектов; (4) адрес узла сети, на котором зарегистрирована бизнес-площадка, объединяющая «агентов совместной деятельности» с близкими интересами и целями; (5) прогнозные оценки развития бизнес-проектов, реализуемых различными инновационными структурами; (6) оценки деловой репутации и компетентности потенциальных бизнес-партнеров, и т. д.

Пример формирования акторных моделей субъектов «Иноватор» и «Инвестор» в зависимости от функций поведения их агентов в системе схематично показан на рис. 2.

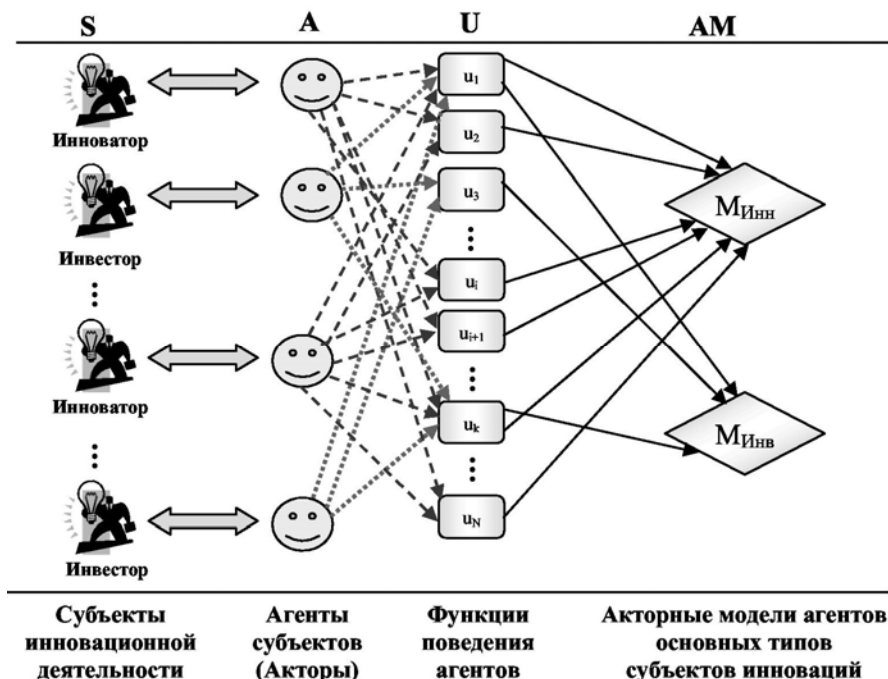


Рис. 2. Акторные модели субъектов «Иноватор» и «Инвестор» в зависимости от функций, выполняемых их агентами в системе

Для составления локальных планов своих действий акторы используют язык L_1 , базирующийся на алгебрах действий и поведений и описываемый грамматикой

$$\text{plan} ::= \text{plan} + \text{plan} \mid \text{plan} \times \text{plan} \mid \text{plan} \rightarrow \text{plan} \mid (\text{plan} + \text{plan}) \mid (\text{plan} \times \text{plan}) \mid (\text{plan} \rightarrow \text{plan}) \mid \text{op}$$

$$\text{op} ::= \perp \mid \Delta \mid 0 \mid f_i,$$

где f_i – функция модуля агента, $\perp, \Delta, 0$ – определенные в алгебре поведений (пустое, завершающее и невозможное), $+, \times$ и \rightarrow – определенные в алгебре действий операции недетерминированного выбора, комбинации действий и последовательной композиции.

Акторная модель функционирования агента в виртуальной бизнес-среде в терминах алгебры действий и поведений формально представляется в следующем виде:

$$AM = PLAN(act_1 \times \dots \times act_i \times \dots \times act_n),$$
$$u = \sum_{i \in I} act_i u_i + \varepsilon,$$

где AM – локальный план действий и поведения агента (акторная модель), описываемый набором ненулевых детерминированных действий $act_i \in ACT$, u_i – поведение после каждого i -го выполненного действия, I – множество индексов, определяемое количеством действий, $\varepsilon = \Delta, \perp, \Delta + \perp, 0$ – терминальные константы.

Практическая реализация

Для реализации акторных моделей агентов использована система алгебраического программирования APS с базовым языком APLAN. Данная система позволяет комбинировать различные программные парадигмы: процедурную, функциональную, алгебраическую и логическую. Для формального представления распределенной системы взаимодействующих друг с другом и со средой агентов, содержащей элементы параллелизма и сетевой работы, использован язык действий AL, представляющий собой часть APS. Базовые шаблоны программных компонентов ВБС (агентов) разработаны в программной инструментальной среде разработки агентов и мультиагентных систем JADE (Java Agent Application Environment). Для поддержания эффективного информационного обмена и обеспечения единых стандартов диалога между агентами системы используется специальный язык FIPA's Agent Communication Language (ACL). Механизм переговоров между агентами системы основан не только на использовании общего языка коммуникации, но и на общей онтологии предметной области. Функции онтологии выполняет КМ ВБС, являющейся частью ментальной подсистемы гибридной InteRRap-архитектуры агента. Она определяет цели и правила взаимодействия агентов, а также отношения между ними.

Заключение

В ходе проведенных исследований разработаны акторные модели функционирования интеллектуальных агентов для разных типов субъектов инноваций. Полученные модели могут быть использованы для моделирования как поведения самих субъектов, так и развития виртуальных организационных структур инноваций. Акторные модели представляют собой формальные спецификации агентов системы, построенные на основе комбинирования различных парадигм моделирования. Учет ряда новых параметров, существенных с точки зрения управления функционированием агентов в ходе имитационного моделирования развития инноваций, позволяет создать наиболее адекватную среду информационно-аналитической поддержки инновационных процессов, учитывая их динамичность, а также распределенность и мобильность субъектов инновационной деятельности. Новизна полученных результатов связана с использованием разработанной ранее автором статьи формализованной концептуальной модели информационно-аналитической среды поддержки развития инноваций [2]. Единое формализованное описание обеспечило возможность разработки и создания комплексных согласованных решений на основе интеграции известных информационных технологий, методов анализа и имитационного моделирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-07-00301-а «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности»).

Литература

1. Олейник А.Г., Попков Ю.С., Путилов В.А., Шишаев М.Г. Информационные технологии поддержки инноваций. – М.: Эдиториал УРСС, 2010. – 503 с.
2. Маслобоев А.В., Путилов В.А., Шишаев М.Г. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций // Информационные технологии в региональном развитии: Сб. науч. тр. ИИММ КНЦ РАН. – Апатиты: КНЦ РАН, 2007. – Вып. VII. – С. 15–27.
3. Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах // Искусственный интеллект и принятие решений. – М.: «КомКнига» УРСС, 2009. – Вып. 3. – С. 3–15.
4. Шалыто А.А., Наумов Л.А. Методы объектно-ориентированной реализации реактивных агентов на основе конечных автоматов // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 756–762.
5. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
6. Morozov A.A., Obukhov Yu.V. An Approach to Logic Programming of Intelligent Agents for Searching and Recognizing Information on the Internet // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2001. – Vol. 11. – № 3. – P. 570–582.
7. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
8. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.

Маслобоев Андрей Владимирович – Учреждение Российской Академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов, Кольский научный центр РАН, кандидат технических наук, доцент, докторант, masloboev@iimm.kolasc.net.ru