

**BPsim4 – ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ****К. А. Аксенов, Е. Ф. Смолий, Е. М. Сафрыгина, Н. В. Гончарова (Екатеринбург)****Введение**

Применение ситуационных моделей в управлении процессами способствует повышению эффективности и качества принимаемых решений, сокращению времени процесса принятия решений (ППР), более рациональному использованию имеющихся ресурсов. Создание систем динамического моделирования ситуаций (СДМС) является одним из перспективных направлений развития систем ППР (СППР). В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем (МАС), спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР). Важной областью применения мультиагентных технологий является моделирование. Подходы к проектированию МАС разделяют на две группы: 1) базирующиеся на объектно-ориентированных (ОО) методах (ООМ) и технологиях; 2) использующие традиционные методы инженерии знаний [1].

В методологиях первой группы разрабатываются расширения ООМ и технологий для проектирования МАС. Существует ряд CASE-средств, поддерживающих ООМ разработки информационных систем (ИС) (Paradigm Plus, Rational Rose). Средство имитационного моделирования (ИМ) МАС AnyLogic использует ОО-язык описания поведения агентов UML-RT. Вторая группа методологий строится на расширении традиционных методов инженерии знаний. Актуальной является задача разработки СДМС на основе ОО-технологий.

**Состояние систем динамического моделирования ситуаций**

Анализ состояния в области СДМС показывает, что в настоящее время не существует систем, ориентированных на процессы преобразования ресурсов. Ближайшими по функциональности аналогами являются средства имитационного и экспертного моделирования и, в частности, экспертная система (ЭС) реального времени G2; система мультиагентного имитационного моделирования (ИМ) AnyLogic; средство моделирования бизнес-процессов (БП) ARIS; система ИМ Arena; СДМС BPsim.MAS и система технико-экономического проектирования BPsim.MSS. Был проведен сравнительный анализ данных систем на соответствие следующим требованиям: 1) проектирование концептуальной модели предметной области (КМПО); 2) описание знаний о предметной области и вывод, основанный на знаниях; 3) описание иерархических, динамических процессов преобразования ресурсов; 4) наличие языков описания ситуаций, команд; 5) построение мультиагентных моделей (наличие сообществ интеллектуальных агентов (ИА), обладающих моделью поведения и знаниями (базой знаний (БЗ))); 6) интеграция ИМ, ЭС и ситуационного управления (СУ); 7) интеграция с методикой сбалансированных показателей (Balanced ScoreCard (BSC)); 8) применение ООМ; 9) поддержка русского языка.

Анализ показал, что наибольшей функциональностью ОО СППР обладают продукты линейки BPsim. Функции проектирования КМПО и построения мультиагентных моделей, содержащих ИА, рассмотренные системы не поддерживают, за исключением систем BPsim.MAS/MSS. Методику BSC поддерживают системы BPsim.MAS и ARIS, но ARIS не поддерживает интеграцию ИМ и BSC. К достоинствам пакетов AnyLogic и G2 можно отнести использование языков высокого уровня, благодаря чему пакеты могут предоставлять разработчику моделей серьезный уровень функциональности. Ана-

лиз применения ОО-технологий в СДМС показал следующие результаты: 1) визуальный язык моделирования UML используется только в системах ARIS и BPsim.MSS, в AnyLogic используются только диаграммы состояний; 2) ОО-программирование наиболее полно используется в системах G2 и AnyLogic; 3) переход от стадии системного анализа (СА, проектирования КМПО) к ОО ИМ ни одна из систем не поддерживает (данная функциональность позволила бы конечным пользователям создавать собственные предметные библиотеки, ориентированные на их задачи и специфику процессов). Таким образом, в качестве основы для создания полнофункциональной ОО СППР выбраны продукты линейки BPsim. В СДМС используются средства ИМ, ЭС и ситуационного моделирования (СМ) [3]. При решении задач моделирования, анализа и синтеза ОТС и БП применяются следующие методы: ИМ, ситуационного моделирования (СМ) и ЭС. Для описания ОТС с точки зрения ППР, динамической составляющей БП, ЭС, СМ и МАС может быть использована теория мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) [3]. Разработка СППР требует выбора или создания математического обеспечения, в следующих разделах решается задача построения архитектуры МАС МППР.

### Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов

Динамическая модель процесса преобразования ресурсов [4] была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики. Данная модель взята за основу и расширена ИА [3]. Модель МППР [3] разработана на основе интеграции ИМ, ЭС, СМ и МАС. Основными объектами модели МППР являются: операции, ресурсы, команды управления, средства, процессы, источники и приемники ресурсов, перекрестки, параметры, агенты или модели ЛПР.

Алгоритм имитатора состоит из следующих основных этапов: 1) определения текущего момента времени  $SysTime = \min_{j \in RULE} T_j$ ; 2) обработки действий агентов; 3) формирования очереди правил преобразования; 4) выполнения правил преобразования и изменения состояния рабочей памяти. Для диагностирования ситуаций и выработки команд управления имитатор обращается к модулю ЭС.

Важное значение при построении архитектуры мультиагентной ОО СППР оказывает выбор и реализация архитектуры мультиагентной системы (МАС).

### Расширение модели МППР архитектурой InteRRaP

Различают два основных класса архитектур агентов: 1) архитектура «интеллектуального агента», которая базируется на принципах и методах искусственного интеллекта, т.е. систем, основанных на знаниях («deliberative agent architecture», «архитектура разумного агента»); 2) архитектура «реактивного агента», основанная на поведении («reactive architecture») или на реакции системы на события внешнего мира. Сейчас среди разработанных архитектур не существует такой, о которой можно сказать, что она является чисто поведенческой или основана только на знаниях. Любая из разработанных архитектур является гибридной, имея черты от архитектур обоих типов.

За основу архитектуры МППР взята InteRRaP-архитектура (как наиболее соответствующая предметной области) – множество вертикально упорядоченных уровней, связанных через общую структуру управления и использующих общую базу знаний [6]. Архитектура состоит из блоков: интерфейса с внешним миром, реактивной подсистемы, планирующей подсистемы, подсистемы кооперации с другими агентами и иерархической базы знаний. Интерфейс с внешним миром определяет возможности агента по восприятию объектов или событий внешнего мира, воздействия на него и средства

коммуникации. Реактивная подсистема использует базовые возможности агента по реактивному поведению, а также частично использует знания агента процедурного характера. Она базируется на понятии “фрагмента поведения” как некоторой заготовки реакции агента на некоторые стандартные ситуации. Компонент, ответственный за планирование, содержит механизм планирования, позволяющий строить локальные планы агента (планы, не связанные с кооперативным поведением). Компонент, ответственный за кооперацию агентов, участвует в конструировании планов совместного поведения агентов для достижения некоторых общих целей или выполнения своих обязательств перед другими агентами, а также выполнения соглашений.

В соответствии с общей концепцией InteRRaP-архитектуры модель агента МППР представлена четырьмя уровнями:

1. Модель *внешней среды* соответствуют следующим элементам МППР: преобразователям, ресурсам, средствам, параметрам, целям. Внешняя среда выполняет следующие функции: генерирует задания, осуществляет передачу сообщений между агентами, обрабатывает команды агентов (выполняет преобразование ресурсов), изменяет текущее состояние внешней среды (переводит ситуацию  $S_n$  в ситуацию  $S_{n+1}$ ).
2. Компоненты *интерфейса с внешним миром* и *реактивного поведения* реализованы в виде базы продукционных правил агента (*тактическая БЗ*) и машины логического вывода (алгоритма имитатора).
3. Компонент *реактивного поведения* выполняет следующие задачи: 1) получает из внешней среды задания; 2) помещает задание в стек целей; 3) упорядочивает цели в стеке в соответствии с применяемой стратегией ранжирования целей; 4) выбирает верхнюю цель из стека; 5) просматривает базу знаний; 6) если найдено соответствующее правило, передает управление процедуре (преобразователю ресурсов) из внешней среды; 7) если правило не найдено, формирует запрос для модуля локального планирования.
4. Уровень *локального планирования* предназначен для поиска эффективных решений в сложных ситуациях (например, когда для достижения поставленной цели требуется выполнить несколько шагов или существует несколько альтернативных путей достижения поставленной цели). Компонент локального планирования реализован на основе фреймовой ЭС (представляет собой *стратегическую БЗ*). В качестве средства формализации знаний используется подход на основе фрейм-концептов и концептуальных графов [2].

Проектирование КМПО и базы знаний локального планирования агента реализовано на основе расширения диаграммы классов языка UML. Семантически это представление может быть интерпретировано как реализация полного графа поиска решения, содержащего все возможные пути достижения некоторой цели. Механизм логического вывода по данной БЗ реализован через диаграмму поиска решений, построенную на основе диаграммы последовательности [7]. Каждое решение в БЗ представляет собой план действий агента. Каждый план состоит из набора правил из базы реактивного компонента. На основе найденного решения происходит обновление текущего плана агента. Перебор всех вариантов, содержащихся в БЗ, формирует библиотеку планов агента.

Если агент в ходе обработки задания или сообщения, полученного из внешней среды, сталкивается с отсутствием соответствующего правила в своей базе (например, «выбрать вариант дальнейшего развития событий из нескольких существующих»), то модуль реактивного поведения формирует запрос к планировщику с указанием цели (т.е. задания, которое требуется выполнить, или состояния внешней среды, которое

требуется получить). Планировщик формирует список планов, отбирает из них оптимальный в соответствии с заданными критериями и алгоритмами оценки, декомпозирует планы, определяет значения параметров, необходимых для имитационного моделирования, и затем передает необходимую информацию компоненту реактивного поведения.

### **Система поддержки принятия решений BPsim4**

ОО СППР BPsim4 реализована на основе интеграции СДМС BPsim.MAS и системы технико-экономического проектирования BPsim.MSS.

В соответствии с общей концепцией InteRRaP-архитектуры модель агента представлена четырьмя уровнями. Компоненты интерфейса с внешним миром и реактивного поведения, как и собственно модель внешнего мира, реализованы в программном модуле BPsim.MAS. Уровень локального планирования реализован на базе модуля ЭС BPsim.MSS. Визуальный построитель механизма вывода оболочки ЭС реализован на основе диаграмм поиска решений (расширение диаграмм последовательности языка UML). Уровень кооперации реализуется на базе обоих модулей.

ОО СППР BPsim4 обеспечивает выполнение следующих функций: проектирование КМПО; создание динамической модели МППР; динамическое моделирование; анализ результатов эксперимента; получение отчетов по моделям и результатам экспериментов, экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

### **Применение системы BPsim4**

СППР BPsim4 использовалась на различных этапах разработки и внедрения единой информационной системы (ЕИС) Уральского государственного технического университета – УПИ (УГТУ), начиная от стадии анализа учебного процесса и проведения реинжиниринга и заканчивая оценкой эффективности внедрения отдельных модулей ЕИС.

В период с 2005 по 2007 год было проведено обследование учебного процесса УГТУ. Анализ показал, что учебный процесс частично автоматизирован, на 2005 год в УГТУ использовалось большое количество ИС (более 20), практически не связанных друг с другом. В результате анализа были выявлены следующие недостатки процессов «Ход сессии» и «Движение контингента»: затруднен поиск нужной информации; наблюдается дублирование информации; отсутствует актуальная информация; невозможно управлять документооборотом и контролировать его; большое количество рутинной бумажной работы; ИС реализованы на разных программно-аппаратных платформах, часть систем реализована на устаревших платформах, техническая поддержка которых уже не представляет смысла.

В СППР BPsim4 на основе новой архитектуры MAS была разработана модель агента (ЛПР), управляющего процессом разработки программного обеспечения (ПО) в УГТУ. Модель состоит из имитационной модели «Разработка ПО для учебного процесса» и моделей ППР, основной из которых является модель «Выбор пути реализации ЕИС вуза» (БЗ данной модели содержит информацию о сетях, программном и аппаратном обеспечении, ИС, ИТ-проектах, командах ИТ-специалистов).

Модуль ЭС требуется для разработки БЗ о проектных альтернативах и алгоритмов поиска эффективной альтернативы, ИМ предназначена для отслеживания хода выполнения отдельных этапов проекта, выявления ошибок и противоречий, допущенных на начальном этапе планирования, и разрешения возможных форс-мажорных ситуаций, возникающих в ходе управления проектом разработки и внедрения ЕИС. ИМ построена на основе спиральной модели жизненного цикла ПО.

Дискретно-событийная модель дополнена агентом (ЛПР), задачей которого является решение текущих оперативных задач управления моделируемым процессом, и задачей выбора варианта проекта. Обращаясь к модулю локального планирования, агент получает технико-экономические параметры нового варианта и обновляет параметры имитационной модели.

Процесс выбора варианта реализации ЕИС представляет собой многостадийную и многопараметрическую задачу принятия решения, состоящую из следующих этапов: анализа различных предложений компаний-разработчиков ПО; выбор программно-аппаратной платформы; подбора и распределения ИТ-специалистов по этапам ЖЦ ПО.

В настоящее время разработанные модели процессов «Как будет» реализованы в программных модулях ЕИС и внедрены в УГТУ-УПИ. Благодаря совершенствованию и автоматизации процесса «Движение контингента» производительность сотрудников деканата повысилась на 27%, а производительность сотрудников ЛСС повысилась на 229% (т.е. более чем в 3 раза). Экономический эффект от внедрения предложенных моделей «как будет» и автоматизации процесса «Движение контингента» составляет 1 027 тыс. руб. в год. Эффект достигнут за счет сокращения «лишних» петель и этапов процесса движения документов, сокращения ввода дублирующей информации и снижения нагрузки на сотрудников деканатов и личного стола студентов.

### Заключение

Решение задачи интеграции имитационного, экспертного, ситуационного и мультиагентного моделирования, а также объектно-ориентированного подхода, позволило реализовать объектно-ориентированный метод моделирования и принятия решений МППР, а также ОО СППР VPsim4, которая используется в УГТУ.

### Литература

1. **Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.** Интеллектуальные информационные системы: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с.
2. **Швецов А. Н.** Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2004. 461 с.
3. **Аксенов К. А., Гончарова Н. В.** Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
4. **Аксенов К. А.** Исследование и разработка средств имитационного моделирования дискретных процессов преобразования ресурсов: Дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.18 / ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ». Екатеринбург, 2003. 188 с.
5. **Аврамчук Е. Ф., Вавилов А. А., Емельянов С. В. и др.** Технология системного моделирования. М.: Машиностроение, 1988. 520 с.
6. **Jorg P. Muller, Markus Pischel** “The Agent Architecture InteRRap: Concept and Application”. German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI)
7. **Аксенов К. А., Попов М. В., Смолий Е. Ф., Доросинский Л. Г.** Динамическая система моделирования и проектирования мультисервисных сетей связи «VPsim3» // Третья всероссийская конференция «Имитационное моделирование. теория и практика ИММОД-2007». Сб. докладов. СПб.: ЦНИИТС, 2007. Т. 1. С. 253–257.