

Задача 1: Многоагентная система планирования операций и составления расписаний их выполнения: Теоретические основы, архитектура и программный прототип

7.1. Руководитель, номер телефона, факса, адрес электронной почты

Карсаев Олег Владиславович, (812)-323-3570, (812)-328-0685, ok@mail.iias.spb.su

8.1. Краткое описание плана работ: цель, предполагаемые результаты, научно-технический подход

Краткий план работ

| | |
|--|----------------|
| A1. Критический обзор состояния исследований в области планирования и составления расписаний выполнения операций | 1-2 кварталы |
| A-2. Разработка концептуальной модели системы планирования | 1-2 кварталы |
| Промежуточный отчет #1, содержащий материалы исследований по задачам A-1 и A-2. | 2 квартал |
| A-3. Разработка архитектуры и алгоритмов, реализующих общие функции агентов. | 3-6 кварталы |
| A-4. Разработка математической модели взаимодействия агентов и архитектуры всей системы в целом | 4-6 кварталы |
| Представление статьи в международный журнал | 5 квартал |
| Разработка и демонстрация предварительной версии компонент прототипа программной системы планирования и составления расписаний (по согласованию с US AFRL/IF.) | 5 квартал |
| A-5. Разработка модели коммуникационной компоненты многоагентной системы | 6-7 кварталы |
| A-6. Разработка объектно-ориентированного проекта программного обеспечения прототипа многоагентной системы и спецификация основных классов программного продукта | 7-9 кварталы |
| Промежуточный отчет #2, содержащий материалы исследований по задачам A3-A-5. | 8 квартал |
| Промежуточный отчет #3, содержащий материалы исследований по задаче A-6. | 10 квартал |
| A-7. Разработка программного кода прототипа системы и его отладка | 8-12 кварталы |
| A-8. Компьютерное моделирование разработанного программного прототипа системы с целью оценки его свойств, возможностей, достоинств и недостатков с использованием разработанного демонстрационного примера | 11-12 кварталы |
| Демонстрация разработанного программного прототипа системы планирования и составления расписаний операций (по согласованию с US AFRL/IF.) | 12 квартал |
| Итоговый отчет, представляющий в целом результаты работы по задаче 1 проекта | 12 квартал |

Цель проекта

Целью данной задачи проекта является разработка теоретических основ построения интеллектуальной распределенной системы планирования и составления расписаний и ее программная реализация на основе технологии многоагентных систем.

Ожидаемые результаты

Основными результатами исследований по первой задаче проекта будут математическая модель, архитектура и программный прототип агентно-ориентированной системы планирования операций и составления расписаний их выполнения. Вместе эти результаты должны сформировать основу технологии распределенного планирования и составления расписаний для некоторого класса приложений. Предполагается, что эти приложения отвечают случаю, когда искомое решение должно удовлетворять ограничениям реального времени на допустимые периоды исполнения компонент операции и на порядок их исполнения. Кроме того, могут присутствовать ограничения технологического характера, не связанные со временем, и ресурсные ограничения. Предполагается, что основные результаты исследований и разработок будут оценены на базе компьютерного моделирования с использованием некоторых прикладных примеров.

Научно-технический подход

При проведении исследований в рамках задачи 1 используются последние достижения в области многоагентных систем с самоинтересованными агентами, рыночные механизмы как основа модели координации поведения (частных решений) агентов, методы дискретной оптимизации, методы теории систем, основанных на знаниях, методы теории коммуникаций агентов и соответствующие языки. Разработка программного прототипа системы выполняется на базе объектно-ориентированного проекта. Используются современные среды поддержки разработки программного продукта (Visual C++, JAVA 2, SQL Server, XML, и др.)

9.1. Ход выполнения технических работ

Исследования по первой задаче Проекта в течении второго года проводились в полном соответствии с планом работ, предусмотренным программой исследований. Полученные результаты исследований описаны в промежуточном отчете №2. В соответствии с разрабатываемым подходом полученные результаты могут быть объединены в два класса.

Результаты первого класса относятся к разработке общей технологии проектирования и разработки агентских систем, предназначенных для решения задач планирования и составления расписаний. Эта технология объединяет множество общих функций и методов, образующих инвариантную платформу для всех агентов (*Generic agent*), и структуру специфической компоненты (*Applied agent's component*) для представления предметно-ориентированных сценариев поведения прикладных агентов и их функций.

- Общая компонента *Generic agent* – инвариантная основа для проектирования и разработки прикладных агентов системы. Она включает функции и методы, которые интерпретируют предметно-ориентированные сценарии поведения агентов, описываемые во второй компоненте.
- Специфическая компонента *Applied agent's component* объединяет интегрированное множество структур данных, в которых формируется описание предметно-ориентированных сценариев поведения и отдельных функций агента. Промежуточный отчет №2 содержит описание этих структур, примеры их содержательного наполнения и технологию наполнения.

В плане работ эти результаты соотносятся с исследованиями задач А-3 и А-5.

Все агенты OPS систем формируются на основе объединения этих компонент. При этом компонента *Generic agent* является готовой для использования и процесс формирования каждого прикладного агента предполагает создание ее копии. Вторая компонента задает структурированную схему описания проблемно-ориентированных сценариев поведения агента и, как следствие этого, она также определяет технологию содержательного описания

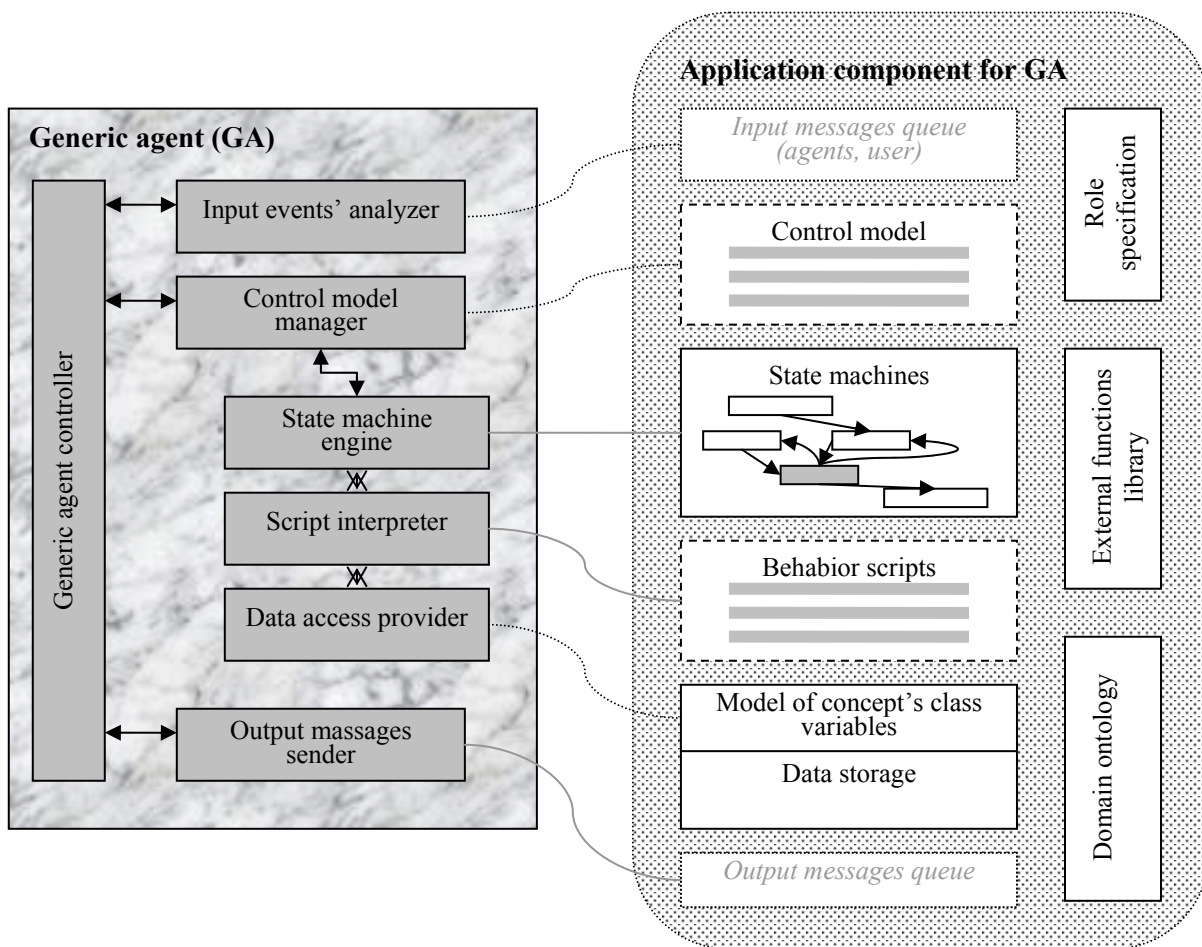


Рис.1.1. Структура Generic Agent и структура специфических знаний агентов

агентов. Формирование таких описаний и составляет основное содержание процесса формирования агентов.

Структуры указанных компонент, а также взаимосвязь элементов этих компонент, более детально демонстрируются рисунком 1.1. Взаимосвязь элементов компонент, в частности, отражает принципы функционирования агентов, а именно: какие функции из *Generic agent* используются для реализации соответствующих содержательных функций/сценариев поведения агента.

Рисунок 1.2 дает структурированное представление содержательных компонент, подлежащих описанию и/или наполнению в процессе формирования отдельных агентов, классов агентов, а также агентских систем в целом. Кроме того, он также отображает технологическую последовательность формирования агентов.

Описание многоагентной системы в целом в контексте рассматриваемого подхода можно подразделить на три этапа. На первом этапе выполняется верхнеуровневое описание системы, что предполагает описание онтологии предметной области, протоколов взаимодействия и классов агентов. При этом, описание протоколов взаимодействия агентов использует понятия *ролей*, базируется на использовании онтологий понятий предметной области и рассматривается как представление сценариев исполнения распределенных алгоритмов на мета уровне. В соответствии с этим заданные протоколы взаимодействия определяют требования к функциональностям классов агентов и тем самым служат основой для определения состава класса агентов в приложении. Принцип определения классов агентов

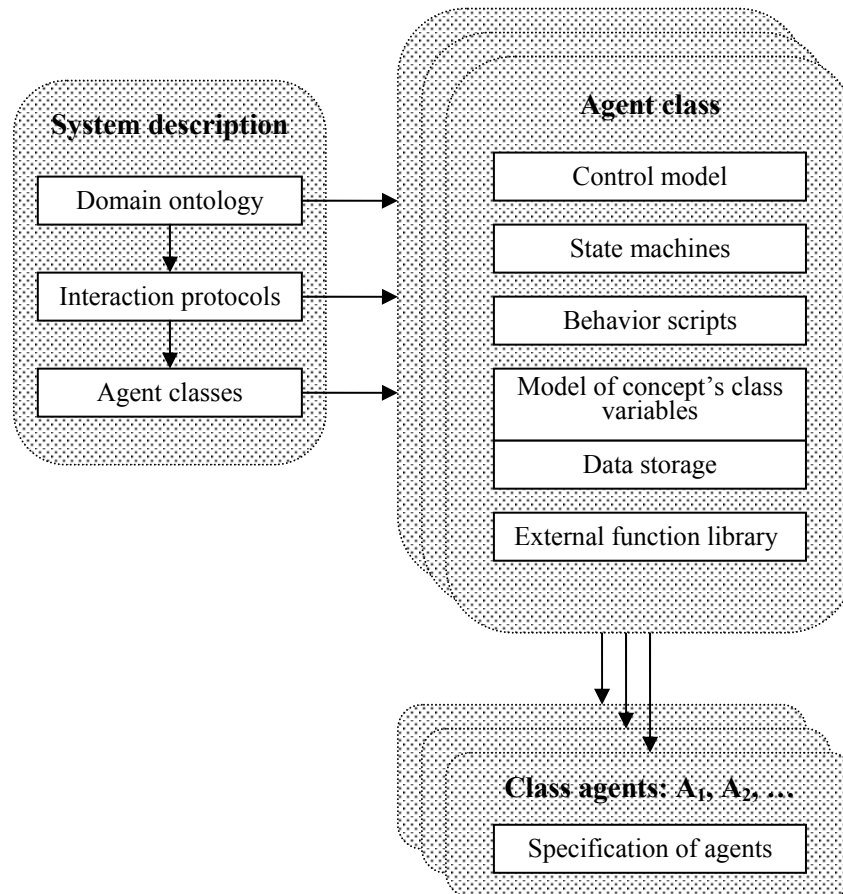


Рис.1.2. Структура описания специфических знаний агентов

состоит в том, что агенты одного класса рассматриваются как потенциальные исполнители одной или нескольких ролей, описанных в протоколах взаимодействия.

Детальная спецификация классов агентов, определенных на первом этапе, составляет основное содержание второго этапа описания системы. В частности, на этом этапе составляется описание сценариев поведения каждого класса агентов в виде трехуровневой системы. На верхнем уровне составляется описание модели управления, на среднем – описание мета сценариев поведения в терминах машин состояний, на нижнем – сценарии поведения, предполагающие описание возможных действий агентов, в том числе – исполнение внешних функций агентов, описанных в оттранслированном программном коде. Модель управления определяет правила использования агентом мета сценариев поведения в зависимости от текущей ситуации окружающего мира, а мета сценарии в свою очередь определяют последовательности выполнения отдельных сценариев поведения. Трехуровневая система описания сценариев поведения далее в тексте рассматривается также как статическая компонента ментальной модели агента. Две другие компоненты, определяемые на втором этапе: модель переменных классов понятий и структура хранилища данных, определяют основу построения динамических компонент ментальных моделей агентов.

Описанные на втором этапе классы агентов служат основой для генерации и описания множества агентов соответствующих классов. При этом, спецификация, сформированная для каждого класса агентов, является общей для всех агентов этого класса. Список агентов каждого класса формируется на третьем этапе описания приложения. При этом, составляется описание данных и знаний, являющихся специфическими для отдельных агентов одного класса.

Результаты исследований, объединяемых во второй класс, относятся к специфике проблемной области. В плане работ эти результаты соотносятся с исследованиями задач А-4 и А-6.

1. Класс прикладных задач, в которых рассматриваются проблемы распределения ресурсов и составления расписаний, определяет предмет исследований в Проекте.

Это определяется двумя обстоятельствами. Первое из них состоит в том, что исследуемая в Проекте схема аукциона по сути своей предназначается для решения задач распределения ресурсов. Второе обстоятельство определяется тем, что в большинстве проблемных приложений рассмотрение этой задачи автоматически предполагает рассмотрение задачи составления расписаний.

В качестве примеров в промежуточном отчете приведено описание четырех прикладных задач данного класса:

- Задача планирования наблюдений районов земной поверхности (EROS);
- Задача составления маршрутов транспортных средств при заданных временных ограничениях (VRPTW);
- Задача планирования и составления расписания исполнения миссий для транспортной авиации (MPS);
- Составление расписаний выполнения проектов при заданных ресурсных ограничениях (RCPS).

Две задачи из числа перечисленных (EROS и VRPTW) на данной стадии исследований используются в качестве примеров приложений для разработки и тестирования компонент программного обеспечения.

2. Детально описаны свойства пространств поиска решений в прикладных задачах указанного класса.

Спецификация пространства поиска решений главным образом рассматривается для определения математических основ формирования схем взаимодействия агентов. Для спецификации пространства поиска подробно рассмотрены свойства двух основных понятий проблемной онтологии, к которым относятся *действия и ресурсы*. Эти свойства определяют возможные между этими понятиями классы отношений, которые в свою очередь позволяют формально определить пространства поиска решений прикладных задач и, в соответствии с этим, позволяют определять различные подклассы прикладных задач.

Класс прикладных задач планирования и составления расписаний в целом, и класс выделенных проблем в частности характеризуется достаточно большим многообразием частных постановок задач. Это с неизбежностью влечет достаточно большое разнообразие специфики в отношении архитектур соответствующих многоагентных систем и схем взаимодействия агентов в этих системах. На данной фазе исследований выделены два подкласса прикладных проблем, для которых предлагаются соответствующие архитектуры систем и схемы взаимодействия агентов. При этом, для одного класса проблем рассматривается одноуровневая схема реализации аукциона, а для другого – двухуровневая схема.

3. Одноуровневая схема реализации аукционов и соответствующая архитектура многоагентных систем.

Одноуровневая схема реализации аукциона описывается в терминах протокола взаимодействия агентов и в терминах соответствующих машин состояний. Эта реализация рассматривается как многократно используемая для различных приложений. Специфика реализации схемы аукциона для различных предложений заключается в формировании предметно-ориентированных эвристических правил, которые используются для решения следующих подзадач.

- Определение критериев стоимости выполнения отдельных контрактов и механизмов расчета этих критериев.
- Определение порядка распределения контрактов между агентами.
- Определение победителя аукциона и назначение исполнителя распределяемого контракта.

Для поиска планов с лучшим качеством предлагается механизм повторного перераспределения части контрактов. Подмножество контрактов, выносимых на повторное перераспределение, определяется самими агентами. При этом, они выделяют контракты двух типов, а именно: контракты, исполнение которых агенты оценивают как нерациональное, а также контракты, исполнение которых с точки зрения агентов оценивается прямо противоположенным образом. Такие оценки контрактов служат основой для определения специфического порядка их перераспределения. Определения порядка перераспределения контрактов играет ключевую роль с точки зрения достижения плана с лучшим качеством. Процесс перераспределения контрактов производится на основе все той же схемы аукциона.

4. Двухуровневая схема реализации аукционов и соответствующая архитектура многоагентных систем.

Двухуровневая схема реализации аукциона использует тот же подход, в котором рассматривается два этапа генерации плана, этап распределения контрактов и этап перераспределения части контрактов для поиска планов с лучшим качеством.

Наряду с этим двухуровневая схема реализации аукциона позволяет учитывать специфические особенности предметных областей соответствующего класса. В частности, обоснование данного утверждения выполняется на основе примера использования двухуровневой схемы реализации аукциона для решения задачи MPS. К числу таковых особенностей в данной задаче относятся следующие обстоятельства.

- Распределение в ходе аукционов множеств элементарных контрактов (действий), составляющих сценарии достижения различных целей.
- Координация поведения субконтракторов, для которых в рамках двухуровневой схемы рассматривается необходимость генерации альтернативных предложений по участию в альтернативных сценариях, направленных на достижение одной цели.
- Необходимость пересчета временных ограничений контракторами в процессе решения отдельной задачи составления расписания, возникающей в связи с планированием исполнения сценариев достижения целей, и другие.

Демонстрация предварительной версии разработанных компонент прототипа программной системы планирования и составления расписаний состоялась в ходе рабочего семинара со специалистами AFRL в SUNY Binghamton в период с 2 по 9 марта 2002 года.

10.1. Существующее положение дел с выполнением технических работ за год

| Содержание этапа | Выполнение, % |
|--|---------------|
| A1. Критический обзор состояния исследований в области планирования и составления расписаний выполнения операций | 100% |
| A-2. Разработка концептуальной модели системы планирования | 100% |
| A-2.1. Разработка онтологии понятий проблемной области | 100% |
| A-2.2. Декомпозиция задачи планирования операций и составления расписаний на подзадачи | 100% |
| A-2.3. Распределение подзадач между типовыми агентами системы планирования и формирование их функциональных структур | 100% |

| | |
|---|------|
| А-2.4. Разработка модели демонстрационного примера | 100% |
| А-3. Разработка архитектуры и алгоритмов, реализующих общие функции агентов. | 100% |
| А-4. Разработка математической модели взаимодействия агентов и архитектуры всей системы в целом | 100% |
| А-4.1. Разработка модели протокола взаимодействия агентов на основе модели аукциона | 100% |
| А-4.2. Разработка архитектуры, функций и баз знаний мета агента | 100% |
| А-4.3. Разработка формальной схемы представления распределенной базы знаний многоагентной системы | 100% |
| А-5. Разработка модели коммуникационной компоненты многоагентной системы | 100% |

11.1. Сотрудничество с зарубежными коллабораторами

Участие О.Карсаева в рабочей конференции в SUNY Binghamton.

Командировка была организована и поддержана European Office of Aerospace Research and Development в рамках программы “Window on Science”. Семинар проводился со 2 по 9 марта 2002 года.

Целью командировки было представление результатов первого года исследований по задаче, обсуждение полученных результатов и будущих исследований со специалистами AFRL/IF и другими участниками конференции.

Во время конференции была продемонстрирована прототип программной реализации системы планирования и составления расписаний на примере задачи *Планирования наблюдений районов земной поверхности*.

12.1. Выявленные проблемы и предложения относительно их устранения

Нет

13.1. Перспективы дальнейшего развития научного исследования

В качестве перспективы исследований рассматривается задача обобщения различных компонент, разрабатываемых для отдельных перечисленных прикладных задач. Целью такого обобщения является задача формирования соответствующего инструментального средства, предназначенного для эффективной разработки приложений выделенного класса задач.

14.1. Ссылки на опубликованные статьи и отчеты

1. В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.Г. Конюший, В.В. Самойлов, А.В. Хабалов. Среда разработки многоагентных приложений MASDK. Статья будет опубликована в “Проблемы информатизации”, Российская академия наук, М.

Абстракт. Одним из перспективных подходов к разработке сложных распределенных приложений является использование многоагентных технологий. Создание инструментальных средств для разработки многоагентных прикладных систем позволяет накапливать и интегрировать инвариантные проектные решения, использовать их при создании новых приложений и тем самым сокращать трудозатраты на их разработку и

отладку. В данной работе приводится краткое описание инструментальной среды такого типа, которая разработана авторами.

2. <http://www.agentcities.org/EUNET/Competition/finalists.php> MAS-VPR (MAS Vehicle Routing Problem With Time Windows)

Вторая версия разрабатываемой программной реализации системы планирования и составления расписаний, предназначенной для решения задачи *Составления маршрутов грузовиков при временных ограничениях*, была представлена для участия в соревнованиях *Agentcities Worldwide Agent Technology Competition* и отобрана членами жюри для участия в финальном конкурсе.

Система будет демонстрироваться в финале соревнований, который будет приурочен к проведению [iD3 Technology Exhibition](#) и состоится 6 февраля в Барселоне, Испания.

Приложения

1.1. Сводка по участию персонала

| Участник | Кол-во дней |
|----------|-------------|
|----------|-------------|

Руководитель исследований по задаче №1
Старший научный сотрудник
Института информатики и автоматизации РАН
К.т.н. О.В.Карсаев