

Многоагентные приложения для среды e-learning*

В статье представлены результаты исследования, посвященного проектированию инструментальных средств поддержки многоагентных приложений для среды e-learning. Разработан алгоритм ведения агентами переговоров. Анализируются особенности программной реализации агентов на мультиагентной платформе JADE. Представлен протокол взаимодействия агентов в среде e-learning. Приводятся результаты экспериментов, намечены направления дальнейших исследований: персонализация и адаптация электронных образовательных контентов к запросам конкретного пользователя, интеллектуализация многоагентной системы.

Ключевые слова: E-learning, многоагентная система, платформа JADE, стандарт FIPA.

MULTIAGENT APPLICATIONS FOR THE E-LEARNING ENVIRONMENT

The article presents the results of a study on the design of tools to support multi-agent applications for the e-learning. The algorithm of agents conducting negotiations is developed. We analyze the characteristics of a software implementation of the multi- platform agents on JADE. We present minutes of the interaction of agents in the environment e-learning. The results of the experiments outlined areas for further research are the following: the personalization and adaptation of e-learning content to the needs of a particular user; and multi-agent system intellectualization.

Keywords: e-learning, multi-agent system, platform JADE, standard FIPA.

Введение

Сфера e-learning считается в образовании одной из самых перспективных. По сведениям ЮНЕСКО, 70% знаний приобретаются сейчас вне классических форм обучения. E-learning является и объектом, и инструментом модернизации современных учебных программ, поскольку представляет неотъемлемую часть учебного процесса в любой форме обучения [1]. E-learning позволяет преобразовывать образовательный контент, повышать мобильность и креативность учебных планов, открывает возможности проектирования и конструирования разнообразных инструментов формирования профессиональных компетенций. Ведутся активные исследования по поиску новых высокоэффективных образовательных технологий. К числу наиболее перспективных технологий и систем относятся:

- технология интеллектуальных программных агентов и многоагентных систем, которая позволяет распознавать индивидуальные особенности обучаемого и возможные возникающие проблемы при усвоении учебного материала и на основе этого автоматически строить модель обучаемого;
- интеллектуальные образовательные среды, построенные с использованием технологий и принципов интеллектуальных агентов, сетей знаний, распознавания и генерирования речи для построения гибких интеллектуальных интерфейсов;
- среды интерактивного взаимодействия, построенные на основе интерактивных распределенных игр и распределенных виртуальных миров, состоящих из объектов многоазового использования (*software reuse* технологии);
- среды интерактивного преподавания и обучения, построенные на основе *web-lecturing* технологии

и активного использования стриминг видео- и аудиофрагментов в реальном времени;

- технология порталов, позволяющая адаптировать и персонализировать пользователя по запросам, а также автоматически своевременно обновлять расположенную в сети Интернет информацию;
- высокоэффективные языки программирования *XML* и *SMIL*, на базе которых строится большинство систем и приложений в сети Интернет;
- технология семантического *Web*, целью которой является объединение существующих разрозненных и отдельно функционирующих *Web*-«островов» в единую глобальную информационную систему.

В частности, активные исследования ведутся по разработке и проектированию разнообразных компьютерных многоагентных систем в образовании, включая системы компьютерной поддержки обучения,

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-11-00242) в Южном федеральном университете



Сергей Иванович Родзин,
к.т.н., профессор
Тел.: (8634) 362-055
Эл. почта: srodzin@sfnedu.ru
Южный федеральный университет
www.sfnedu.ru

Sergey I. Rodzin,
Candidat of Engineering Science,
Professor
Tel.: (8634) 362-055
E-mail: srodzin@sfnedu.ru
Southern federal university
www.sfnedu.ru



Лада Сергеевна Родзина
аспирант
Тел.: (8634) 383-451
Эл. почта: lada.rodzina@gmail.com
Южный федеральный университет
www.sfnedu.ru

Lada S. Rodzina,
postgraduate student
Tel.: (8634) 383-451
E-mail: lada.rodzina@gmail.com
Southern federal university
www.sfnedu.ru

интеллектуальные системы обучения, интерактивные среды обучения. Примерами могут служить такие проекты, как *Open Knowledge Initiative*, *Engineering World*, проект *INCAMPUS* Южного федерального университета и др. [2].

Это позволяет говорить об актуальности исследований в области разработки инструментальных средств поддержки многоагентных приложений для среды e-learning. Однако для эффективной организации e-learning на основе многоагентных систем необходимо решить разнообразные вопросы, связанные с выполнением функций интеллектуальными агентами, организацией их взаимодействия, переговоров [3]. Статья посвящена проектированию инструментальных средств поддержки многоагентных приложений, а также разработке протоколов взаимодействия и организации переговоров агентов в среде e-learning.

1. Постановка задачи

Согласно определению международной организации *FIPA* (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) агент «обладает способностью предоставлять в рамках унифицированной и интегрированной исполнительной модели один или более сервисов, которые могут включать доступ к внешнему программному обеспечению, пользователям и коммуникационным возможностям» [4].

Для успешного взаимодействия агентов необходимо их синтаксическое (по языку) и семантическое (по используемым в предметной области понятиям) согласование. Проблема здесь состоит в различиях между внешним и внутренним представлениями знаний. Возможное решение проблемы заключается в использовании онтологии как части языка коммуникации агентов [1, 5, 6].

При проектировании инструментальных средств поддержки многоагентных приложений возникают различные вопросы [7]:

- как агенты взаимодействуют между собой? Какие языки и протоколы для этого использовать? Что и когда передавать?;
- как гарантировать, что агенты действуют когерентно в принятии решений или мер?;

- как агенты представляют и рассуждают относительно действий, планов и знаний других агентов, чтобы выполнять координацию с ними?

Постановка решаемой исследовательской проблемы состоит в следующем. В условиях наличия нескольких источников знаний в информационно-обучающей системе, многокомпонентности и сложной структуры учебно-педагогических знаний реализовать программных агентов, оказывающих помощь в освоении учебного курса. Из проблемы вытекает целый ряд частных задач:

- используя модель *FIPA*-совместимой платформы, разработать архитектуру многоагентной системы для среды e-learning на *JADE*;
- разработать алгоритм ведения агентами переговоров в среде e-learning;
- разработать протокол взаимодействия агентов с целью оптимизации процесса e-learning.

Решению указанных задач посвящены разделы, представленные ниже.

2. Алгоритм ведения агентами переговоров

Наиболее популярной из многоагентных платформ является *JADE* [2]. Основными свойствами платформы *JADE* являются поддержка стандартов *FIPA*; существование большого количества готовых плагинов; интеграция с *CORBA*, *XML*; наличие подробной документации и лицензии; наличие связи с коммерческими структурами и применение платформы во многих университетах мира; наличие инструментария разработки агентов (отладка обработчиков поведения, средства тестирования, управление платформой и агентами); использование в качестве языка описания агентов *Java*, возможность использования сторонних плагинов, поддержка онтологий.

Рассмотрим алгоритм ведения переговоров в образовательной сети, которая включает несколько агентов: студент-агент (СА), поисковый бот (ПБ), педагогический агент (ПА), агент антрепренер (АА), зарегистрированных на платформе *JADE*.

Исходные данные поступают от студента через GUI к СА. Запрос переходит к агенту ПБ. Этот запрос

проверяется на предмет соответствия данной тематике (проверка на принадлежность используемых предикатов и терминов заданной онтологии). В случае успешного ответа запрос передается агенту АА (в противном случае студенту выдается соответствующее сообщение об ошибке и требуются дальнейшие действия студента – либо переформулирование запроса, либо отказ вообще от использования данного сервиса). Агент АА, получив запрос от агента ПБ, в свою очередь, обращается к «сервису желтых страниц», который обеспечивается агентом среды *JADE Directory Facilitator* (DF). Подразумевается, что все существующие педагогические агенты ПА заранее зарегистрированы агентом DF. Агенту DF передается запрос на выдачу списка всех педагогических агентов, предоставляющих заданные дистанционные курсы с именем желаемого курса (подразумевается, что решен вопрос о синонимичности курсов, находящийся в компетенции онтологического агента).

Агент АА получает список, состоящий из N педагогических агентов ПА, готовых предоставить заданный дистанционный курс. Затем агент АА передает этот список агенту ПБ, который начинает вести переговоры с каждым педагогическим агентом из списка. В первую очередь агент ПБ задает уточняющий вопрос о наличии заданного курса у педагогического агента ПА, так как данные предоставленные агентом АА, который, в свою очередь, воспользовался «сервисом желтых страниц» могли быть устаревшими. В случае отсутствия необходимого курса у ПА агент ПБ переходит к переговорам со следующим ПА.

В случае наличия необходимого курса агент ПБ обращается с запросом к ПА для получения полного списка разделов курса. Когда список получен, агент ПБ производит сравнение списка разделов курса с заданным студентом списком разделов, и в случае совпадения разделов он запрашивает у ПА информацию о длительности и стоимости совпавшего раздела, фиксируя в своей базе данных полученную информацию. Таким образом, происходят диалоги со всеми ПА из списка. По завершении спис-

ка ПБ агент переходит к принятию решения: он подбирает такую последовательность необходимых разделов, которая бы максимально соответствовала запросу студента, включая стоимостные и временные ограничения.

3. Программная реализация агентов в среде JADE

При программной реализации поведения агента используется класс JADE, его реализующий, а само поведение задается программистом.

Рассмотрим фрагмент поведения агента ПБ на языке Java с использованием классов JADE. Агент SA выполняет основные функции агента CA и получает от него по GUI необходимую информацию. При получении определенных шаблонов сообщений агент переходит из одного состояния в другое. Если сообщение не приходит, то агент остается в прежнем состоянии.

На языке Java это реализовано следующим образом:

```
class myBehaviour extends
SimpleBehaviour {
    private int state = 1;
    private boolean finished =
false;
    ACLMessage msg1, msg2;
    public myBehaviour(Agent a) {
super(a); }
    public void action() {
        switch (state) {
            case 1: {
                if (op1()) state=2;
            } break;
            case 2: {
                if (op2()) state=3;
            } break;
            case 3: {
                op3(); finished = true;
            } break;
        }
    }
    // Receiving source
    information from StudentAgent
    private boolean op1() {
        MessageTemplate
m1 = MessageTemplate.
MatchPerformative(ACLMessage.
INFORM);
        MessageTemplate
m2 = MessageTemplate.
MatchLanguage("Plain-Text");
        MessageTemplate m3 =
MessageTemplate.and(m1,m2);
        msg1 = receive(m3);
        if (msg1 != null) {
            return true;
        }
        else {
            block();
            return false;
        }
    }
}
```

```
// Sending source
information to Matchmaker
private boolean op2() {
    AID r = new AID();
    r.setName("Matchmaker");
    msg2 = new
ACLMessage(ACLMessage.QUERY_
REF);
    msg2.setSender(getAID());
    msg2.addReceiver(r);
    msg2.setContent("(all ?x
(and (course-deliver ?x) (and
(hold-of ?x ?y) (and (distance-
course ?y) (has-title ?y "+msg1.
getContent()+")))) )");
    msg2.setLanguage("FIPA-
SL");
    msg2.setOntology("Distance-
Learning");
    msg2.setReplyWith("q1");
    send(msg2);
    return true;
}
...
}
```

В частности, вначале SA ожидает информацию о введенном запросе от студента, тип сообщения в поле *<performative>* должен быть «*inform*» и язык сообщения, указанный в поле *<language>*, должен быть «*Plain-Text*». Объявляется класс агента SA, который является производным класса *Agent* среды JADE. Затем задается поведение агента при реализации класса *myBehaviour*, являющегося производным классом от класса *SimpleBehaviour*.

Значение состояния содержится в переменной *state*, которое инициализируется значением 1. Затем при получении сообщения *Inform* на языке *Plain-Text* от агента *Student Agent* состояние разговора меняется на *state=2*, в противном случае, если сообщение не пришло, то агент *SearchbotAgent* остается в прежнем состоянии *state=1*, и т.д. Таким образом, разговор агентов производится путем передачи друг другу определенных сообщений на языке *FIPA ACL* и сменной состояний, при получении конкретных сообщений.

Графический интерфейс программы позволяет задавать следующие поля: название курса; названия разделов курса; ограничения на цену курса; ограничения на длительность курса. При этом используются возможности, предоставляемые платформой JADE для наглядного представления происходящих в среде переговоров (используется служебный агент *Sniffer*).

В программный комплекс JADE могут быть включены дополнительные модули, например для связи с внешними компонентами, библиотеки агентов и внешних компонентов. Среда разработки многоагентных систем может быть дополнена специализированными модулями их проектирования, например системой контроля версий, редактором онтологий и др.

К тому же программные агенты могут выполнять множество рутинных задач по обработке информации без помощи человека. Основной трафик порождается агентами, а конечный пользователь даёт задания агентам и выполняет общее управление такой деятельностью. Возможна миграция агентов не только между постоянно присоединенными к сети узлами, но и между мобильными платформами, которые подключаются к сети на некоторые промежутки времени. Клиент присоединяется к постоянной сети на короткий промежуток времени с мобильной платформы, отправляет агента для исполнения задачи и отсоединяется; потом клиент присоединяется к другому узлу сети и забирает результаты работы агента. Другой вариант – сервер, на который должен переместиться агент, присоединяется до сети, а потом отсоединяется. В этом случае агент должен уметь переместиться на такой сервер, который временно присоединяется, и вернуться в постоянную сеть.

4. Протокол взаимодействия агентов в среде e-learning

Пусть некоторый пользователь желает через среду e-learning прослушать и обучиться отдельным разделам курса «Многоагентные системы», например «Языки общения агентов», «Онтологии», «Агентные приложения». Известны ограничения по времени и по стоимости курса. Задача состоит в том, чтобы осуществить сборку курса, исходя из критерия минимума цены и длительности. Причем если требуемая комбинация не будет найдена, то студенту должна выдаваться информация по курсу, состоящему из разделов, максимально близких к заданным, и студенту предоставляется возможность самому решить,

готов ли он воспользоваться найденным курсом. Кроме того, должна быть возможность проведения переговоров о снижении цены.

Тогда протокол их взаимодействия в образовательной сети представляет следующую последовательность:

- агент СА принимает запрос от пользователя, генерирует агента ПБ и передает ему запрос пользователя;
- агент ПБ проверяет данные запроса на соответствие данным онтологии;
- в случае успеха агент ПБ связывается с агентом АА, владеющим информацией по педагогическим агентам;
- в ответ АА передает агенту ПБ список педагогических агентов ПА;
- агент ПБ связывается с педагогическими агентами и запрашивает у них список имеющихся курсов;
- каждый агент ПА присылает агенту ПБ список имеющихся разделов курсов;
- агент ПБ связывается с педагогическими агентами и запрашивает у них список имеющихся разделов имеющихся курсов;
- каждый агент ПА присылает агенту ПБ список разделов и их названия;

• агент ПБ посылается запрос списка пар длительностей и стоимости совпавших разделов;

• агенты ПА присылают агенту ПБ списки пар длительностей и стоимости заданных разделов;

• агент ПБ принимает решение о том, какие конкретно разделы предложить пользователю, т.е. выбрать из имеющихся модулей курса те, что наиболее подходят в связи с ограничением пользователя по стоимости и длительности курса.

Ниже, в качестве примера, представлен диалог между агентами на языке *FIPA-ACL*. Это запрос списка уникальных идентификаторов педагогических агентов, которые предоставляют учебные курсы и владеют дистанционными курсами с названием «*Multiagent Systems*»:

```
(query-ref
:sender (agent-identifier :name
SearchbotAgent)
:receiver (set (agent-identifier
:name Matchmaker))
:content
((all ?x
(and (course-deliver ?x)
(and (hold-of ?x ?y)
```

```
(and (distance-course ?y)
(has-title ?y "Multiagent
Systems"))))))
:language FIPA-SL
:ontology Distance-Learning
:reply-with q1)
```

а также выдача списка курсов, соответствующих запросу (в данном случае найдено три курса):

```
(inform
:sender (agent-identifier :name
Matchmaker)
:receiver (set (agent-identifier
:name SearchbotAgent))
:content
((= (all ?x
(and (course-deliver ?x)
(and (hold-of ?x ?y)
(and (distance-course ?y)
(has-title ?y "Multiagent
Systems"))))))
(set AUID-1 AUID-2 AUID-3)))
:language FIPA-SL
:ontology Distance-Learning
:in-reply-to q1)
```

Заключение

Один из наиболее важных выводов из проведенных исследований, программных разработок и экспериментов заключается в том, что технология многоагентных систем является одним из самых перспективных средств для построения агентов, способных играть роль виртуальных преподавателей, виртуальных студентов или слушателей, виртуальных тьюторов или кураторов, помогающих студентам в обучении.

Предлагаемые протоколы взаимодействия агентов были апробированы в демоверсии многоагентной системы и продемонстрировали высокую надежность и эффективность, правильность предложенных архитектурных и программных решений, хорошее взаимодействие с существующим программным обеспечением, возможность расширения функциональности за счет добавления новых агентов.

Демонстрационная версия многоагентной системы выполняет поиск заданных учебных курсов и их отдельных модулей, удовлетворяющих по своим параметрам запросу пользователя. В зависимости от результатов поиска выводится либо список подходящих курсов вместе с идентификаторами предоставляющих их агентов, либо сообщения об отсутствии таковых в принципе или о причине несоответствия найденных.

Агенты общаются между собой. Дорабатывается и расширяется

платформа агентов за счет следующего множества агентов:

- администратора для управления жизненным циклом агентов, расположенных на платформе;
- менеджера, отвечающего за регистрацию сервисов (ролей) агентов приложений;
- коммуникатора, который обеспечит связь между агентами;
- раппера для преобразования форматов сообщений между агентами и остальным программным обеспечением (базами данных, пакетами прикладных программ и т.д.);
- администратора онтологий, в функции которого входит обеспечение связи между серверами онлайн-курсов, администрирование и управление курсами; распределение ролей (студент, преподаватель, администратор курса и т.п.);
- персонального ассистента, представляющего собой особый класс интеллектуальных агентов, функционирующих полуавтономно от пользователя и от его имени, представляя его интересы или представляя услуги от имени пользователя другим ассистентам;
- модератора группы, который сможет обеспечить поддержку кооперативного решения проблемы; помочь тьюторам в координации действий членов группы; а также предложить темы для обсуждения, выбирая их из базы знаний;

координирует фазы обсуждения проблем (например, управляет процедурами предоставления слова, организации голосования и т.п.); распределить привилегии при принятии предложений; предложить возможные общие решения. Этот же агент, помогая студентам, координирует сообщения, переключает и активизирует панель пользователя, предлагает частные решения пользователю;

- новостного агента, обеспечивающего поддержку системы новостей и асинхронный обмен сообщениями между преподавателем и студентами, включая обеспечение связи между пользователями, зарегистрированными на различных серверах; запись всех сообщений, относящихся к данному конкретному пользователю, в его «записную книжку», реализованную в виде отдельного приложения на компьютере клиента;

• чат-агента, обеспечивающего поддержку структурированного и синхронного обсуждения пользователями, зарегистрированными на различных серверах.

Основными направлениями дальнейших исследований и разработок инструментальных средств поддержки многоагентных приложений для среды e-learning являются:

- дальнейшая интеллектуализация многоагентной системы;

• персонализация и адаптация электронных образовательных контентов к запросам конкретного пользователя;

• соответствие разрабатываемым стандартам по представлению учебных материалов в сети Интернет;

• ориентирование на новую парадигму образования, в центре которой стоит обучаемый и глобальные образовательные ресурсы, а не преподаватель и локальные ресурсы;

• новые технологии преподавания и обучения, основанные на возможностях сети Интернет.

Создание эффективно работающих реальных приложений требует еще достаточно больших усилий в области методов организации кооперативного решения задач агентами многоагентной системы, методов организации переговоров при разрешении конфликтов и создания соответствующих протоколов [5, 6]. В этой связи направлениями дальнейших исследований и разработок для поддержки многоагентных приложений для среды e-learning являются персонализация и адаптация учебного материала к запросам конкретного пользователя, что соответствует новой парадигме образования, в центре которой стоит обучаемый и глобальные образовательные ресурсы, а не преподаватель и локальные ресурсы.

Литература

1. Курейчик В.В., Родзин С.И., Родзина Л.С. Мобильное обучение: контекстная адаптация и сценарный подход // Открытое образование. – 2013. – № 4 (99). – С. 75–82.
2. Родзина Л.С. Прикладные многоагентные системы. Программирование на платформе JADE. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co, 2011. – 174 с.
3. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352с.
4. FIPA. ACL Message Structure Specification [Electronic resource]. – URL: <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/>
5. Родзин С.И., Родзина Л.С. Мобильные обучающие системы и онтологии // Онтология проектирования. – 2013. – № 3(9). – С. 70–82.
6. Кравченко Ю.А. Синтез разнородных знаний на основе онтологий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 216–221.
7. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Инструментальные средства для открытых сетей агентов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 3. – С. 106–124.