

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Ю. А. Ивашкин, Е. А. Назойкин (Москва)

Состояние образовательной системы в большинстве случаев непредсказуемо и не может быть прогнозируемо изначально аналитически или путем логического анализа, так как оно является результатом многошагового взаимодействия множества активных элементов системы и среды обучения.

Применяемые аналитические методы анализа и оценки эффективности учебного процесса в своей основе используют *рейтинговую или статистическую оценку* без учета динамики состояния, поведения и взаимодействия активных элементов (преподавателей и учащихся) при заданных и изменяющихся условиях и стратегиях управления.

Изучение динамики накопления знаний и навыков в процессе информационного взаимодействия преподавателя и учащихся с учетом влияния человеческого фактора и факторов среды обучения в заданной предметной области возможно с помощью *агентно-ориентированной имитации* взаимодействия активных элементов – *интеллектуальных агентов* (ИА), варьирующих свои свойства и поведение в зависимости от состояния других элементов и образовательной среды.

Процесс обучения в вузе на основе мультиагентных технологий можно представить в виде трех основных взаимодействующих компонентов: обучаемый агент AgStud, имитирующий процесс накопления знаний; агент AgTeacher, передающий знания обучаемому агенту и оценивающий степень их накопления; объектный блок «среда обучения», отражающий условия обеспечения учебного процесса (расписание занятий, учебно-методические указания, оснащенность аудиторий и т.п.).

Интеллектуальный агент AgStud может быть описан переменными и параметрами когнитивного *Co*, личностного *Ps*, эмоционального *Em* и социального *So* состояний в виде кортежа [4]:

$$\text{AgStud} = \{ Co, Ps, Em, So \},$$

где $Co = \{c_1, \dots, c_7\}$ – вектор параметров когнитивного состояния агента, включающий: c_1 – интеллект по IQ; c_2 – внимание; c_3 – способность к восприятию; c_4 – уровень априорных знаний J_0 ; c_5 – коэффициент эффективности переработки информации R ; c_6 – скорость восприятия информации λ ; c_7 – текущий уровень знаний J ; $E_i = \{e_1, e_2, e_3\}$ – вектор параметров эмоционального состояния i -го агента: e_1 – психотип личности; e_2 – степень психологической напряженности; e_3 – эмоциональная реакция; $Ps = \{p_1, p_2, p_3\}$ – вектор персональных характеристик агента: p_1 – сознательность; p_2 – трудолюбие; p_3 – быстрота утомляемости; $So = \{s_1, s_2\}$ – вектор параметров социального состояния: s_1 – **индекс социометрического статуса**; s_2 – уровень взаимодействия.

Параметры состояния определяются в результате проведения психологических тестов в группе студентов по заданным характеристикам и рассчитываются в относительных единицах с кластеризацией агентов по четырем уровням накопления знаний (отлично, хорошо, удовлетворительно, плохо) с использованием лингвистической переменной и аппарата нечетких множеств.

Для определения лингвистической переменной используется Гауссова функция принадлежности (рис. 1).

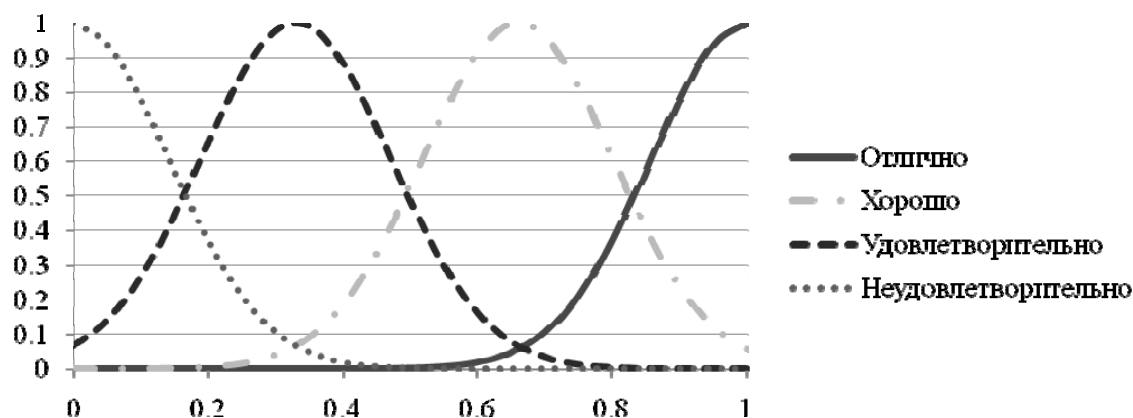


Рис. 1. Функция принадлежности уровня знаний студента к оценке

Накопление и усвоение знаний [1] агентом *AgStud* в зависимости от уровня априорных знаний и избыточности представляемого материала описывается уравнением

$$J(t) = R \cdot I_t \cdot \left(1 - \frac{J_0}{I_t}\right) + J_0, \quad (1)$$

где $R = \frac{J}{I_t}$ – усредненный коэффициент эффективности обучения, изменяющийся от 1 до 0; J_0 – количественная оценка априорных знаний.

Из формулы (1) следует, что при $J_0 = I_t$ представляемая информация не дает новых знаний и $J(t)$ остается на прежнем уровне J_0 .

Динамику накопления знаний в первом приближении можно описать дифференциальным уравнением первого порядка:

$$T \cdot \frac{dJ(t)}{dt} = R_t \cdot \left(1 - \frac{J_0}{I_t}\right) \cdot I_t - (J(t) - J_0), \quad (2)$$

где R_t – коэффициент эффективности усвоения информации в текущий момент времени t ; T – постоянная времени усвоения единицы новой информации, с.

Постоянная времени T обратно пропорциональна пропускной способности агента λ , [ед. информации / ед. времени], определяющей время переходного процесса и скорость накопления знаний при единичном скачке входной информации в начальный момент времени.

Пропускная способность зависит, в первую очередь, от исходного когнитивного состояния обучаемого агента, его априорных знаний, эмоционального состояния и эмоциональной реакции и изменяется в процессе обучения в зависимости от объема воспринятой информации $J(t)$, способа представления I_t , степени тренированности и других факторов.

Нахождение λ достигается применением искусственной нейронной сети (НС), структура которой показана на рис. 2 для наиболее значимых факторов состояния c_j , e_k , p_l .

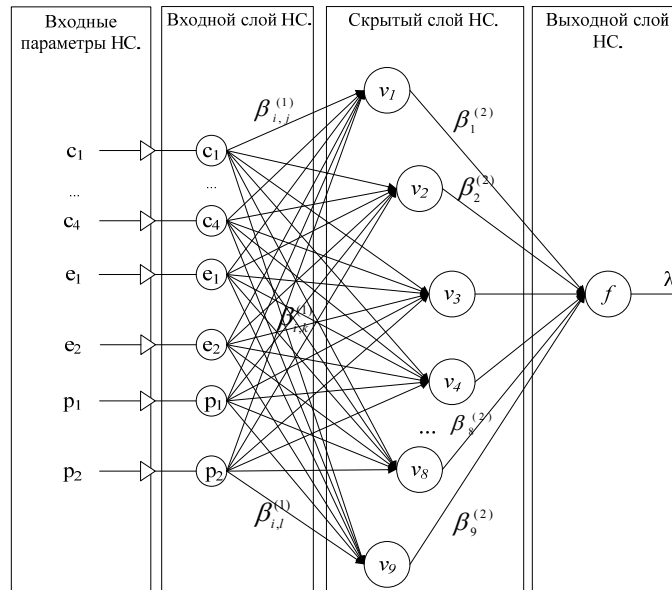


Рис. 2. НС типа «многослойный перцептрон» для расчета λ

Оценка *эмоциональной реакции* [2] Q_i студента на процесс обучения (*удовольствие, ожидание, обучение, стремление, безразличие, отрицание* и т.п.) зависит от его эмоционального состояния в точке эмоционального гиперпространства с координатами q_j ; $j = 1, 15$ (*счастье, грусть, злость, скука, сомнение, надежда, страх, интерес, презрение, отвращение, разочарование, удивление, гордость, стыд, чувство вины*) и определяется множественной регрессией ее конкретного вида от значений координат:

$$Q_i = w_{i0} + \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} q_j; \quad i = 1, 6, \quad (3)$$

где q_j – балльная субъективная оценка уровня эмоции (j -й координаты); w_{ij} – коэффициенты линейной множественной регрессии; m_i – число эмоций, имеющих сильную корреляционную связь с областью i -й эмоциональной реакции агента ($i = 1, 6$).

При известных или задаваемых оценках координат вектора эмоционального состояния агента в 15-мерном эмоциональном пространстве после очередного события определяется область наиболее интенсивной эмоциональной реакции, обуславливающей дальнейшие действия агента.

Социальное состояние агента определяется индексом социометрического статуса C_i , характеризующим степень общительности студента и его отношение к коллективу в целом, и рассчитывается с помощью экспертного опроса по формуле

$$C_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (S_{ij} + S_{ji}); \quad i = 1, N, \quad (4)$$

где S_{ij} , S_{ji} – количество прямых и обратных связей i -го агента с другими агентами $AgStud_j$ в группе с оценками сотрудничества (+1), антагонизма (-1) и безразличия (0) во взаимодействии; N – число студентов в группе.

Агент “преподаватель” *AgTeach* характеризуется набором векторов состояния:

$$AgTeach = \{ Co, Em \},$$

где Co – вектор когнитивного состояния; $Em = \{ e_{1i}, e_{2i} \}$ – вектор эмоционального состояния.

Основные события, связанные с поведением агента *AgTeach*, сводятся к следующему:

1. Передача знаний студентам в соответствии с учебным планом в течение аудиторных занятий. При этом качество транслируемой информации определяется когнитивным и эмоциональным состоянием преподавателя и оснащенностью аудиторий.

2. Промежуточный контроль успеваемости, аттестация и рейтинговая оценка студентов.

3. Итоговый контроль знаний (зачет, экзамен, переход к следующему этапу обучения).

Математические модели (1)–(4) и продукционные правила поведения агентов позволяют составить описание состояния и поведения агентов в зависимости от ситуации взаимодействия с другими агентами и средой.

Мультиагентная модель процесса обучения *Learning* в универсальной имитационной системе *Simplex3* [3] включает **пять базисных компонентов** (рис. 3), а именно: агенты класса *AgStud*, агент *AgTeach*, компонент *Area* «среда обучения»; компонент *Statistic* «текущая успеваемость и оценка эффективности», компонент *Connexion* – для адресного обмена сообщениями между агентами *AgStud* и *AgTeach*.

Каждый агент описывается на объектно-ориентированном языке описания моделей *Simplex-MDL (Model Description Language)* базисным *MDL-компонентом* с декларированием переменных состояния, сенсорных связей и описанием динамики поведения в виде алгебраических и дифференциальных уравнений и последовательности событий. Базисные компоненты объединяются в общую мультиагентную модель системы с помощью сенсорных связей и *мобильных компонентов* – для адресной передачи сообщений между агентами.

Из блока *Area* (среда обучения) агентам *AgStud* (студент) и *AgTeach* (учитель) по каналам сенсорных связей передается организационная информация о времени начала лекционных, практических и лабораторных занятий, $Time[k]$; $k=1..3$; характеристики среды обучения $V[k]$ (оснащенность компьютерами, мультимедийными средствами, интернет и т.п.); план лекционных, практических и лабораторных занятий на семестр V_{ymk} ; информация о времени проведения и типе контроля *Control* накопленных знаний – J_i .

Адресный обмен сообщениями между агентами обеспечивается, с одной стороны, *мобильным компонентом MessageStud*, передающим информацию от агентов $AgStud_i$ агенту *AgTeach* об эмоциональной реакции, социальной потребности, запрос о помощи; и, с другой стороны, *мобильным компонентом MessageTeach* с оценкой $Ball[i]$ i -му студенту и персональной информацией (дополнительный контроль, поощрение или порицание, дополнительные занятия и т.п.).

В результате имитационного моделирования на основе исходных данных и параметрических описаний получены графики изменения уровня знаний студента в процессе активной и самостоятельной фаз обучения (рис. 4, 5).

На графике (рис. 4) отображена тенденция накопления знаний учащихся. Во время моделирования от 0 до 4,5 ч наблюдается рост знаний агентов в активной фазе обучения.

Из графика видно, что наиболее успешное накопление знаний показывает агент *AgStud1* за счет высоких когнитивных, эмоциональных, социальных и личностных характеристик и уровня априорных знаний.

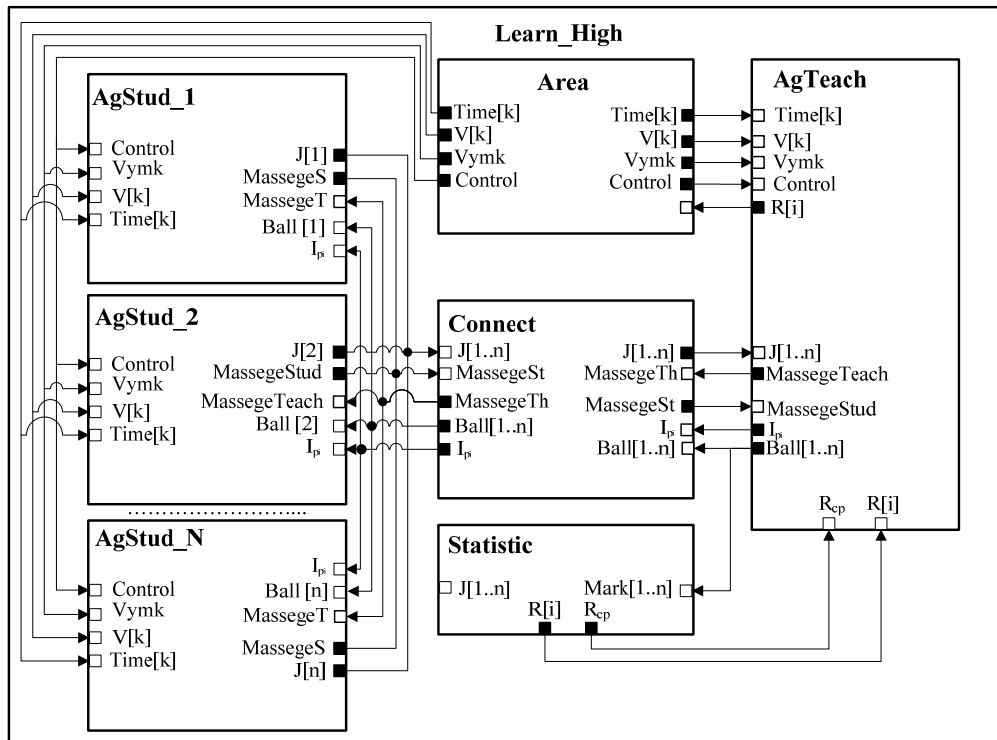


Рис. 3. Мультиагентная имитационная модель *Learning*:

$Time[k]$ – время начала k -го цикла аудиторных занятий, $k=1..3$; $V[k]$ – характеристики среды обучения (оснащенность компьютерами, мультимедийными средствами, интернет и т.п.); V_{ymk} – учебные планы и графики лекционных, практических и лабораторных занятий на семестр; $Control$ – информация о времени проведения и виде контроля; $J[i]$ – информация о накопленных знаниях i -го агента; I_p – поток информации от преподавателя, $MassegeStud$ – мобильный компонент с сообщениями от агентов *AgStud*; $MassegeTeach$ – мобильный компонент сообщений от агента *AgTeach*; $Ball[i]$ – оценка i -го студента

Агент *AgStud2* по сравнению с *AgStud1* имеет более низкие когнитивные характеристики и запаздывает в процессе усвоения представляемой информации. Однако благодаря высоким личностным характеристикам (стремление к обучению) он приближается к уровню знаний агента *AgStud1*.

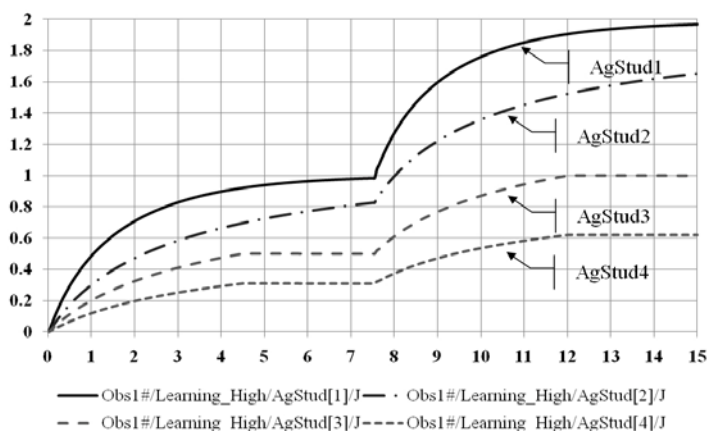


Рис. 4. Графики накопления знаний агентами *AgStud* в фазе активного обучения

Состояние агента *AgStud3* соответствует удовлетворительному уровню, но при хорошей самостоятельной проработке материала и более активном взаимодействии он

имеет более высокий уровень знаний, чем агент *AgStud4*, состояние которого находится на неудовлетворительном уровне.

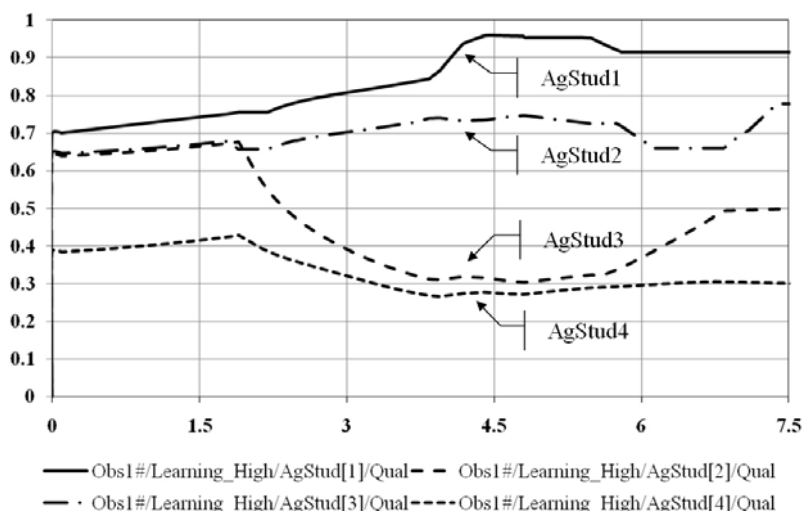


Рис. 5. Изменения эффективности накопления знаний агентами в фазах активного и самостоятельного обучения

На разных этапах активного (0–4,5 ч) и самостоятельного (4,5–7,5 ч) обучения агенты *AgStud* изменяют свое общее состояние в соответствии с показателем эффективности обучения, параметрами когнитивного и эмоционального состояний и социального статуса (см. рис. 5).

Мультиагентная имитационная модель образовательного процесса позволяет прогнозировать ожидаемый уровень знаний обучаемого и после текущего контроля корректировать индивидуальный план обучения агента для возможного повышения эффективности образовательного процесса.

Алгоритм разработки индивидуального плана обучаемого для оптимизации накоплений знаний сводится к следующим этапам.

1. По завершении очередной фазы активного обучения агентом «преподаватель» на основе определенной функции принадлежности инициализируется текущий уровень усвоения знаний агентом «студент» в бальной оценке.

2. Определяется необходимый уровень знаний для повышения текущей успеваемости на один балл (I_{min}), исходя из характеристик его состояния и пропускной способности λ .

3. Определяется новое необходимое время самостоятельной работы T_{srs}^{new} агента для усвоения требуемого минимума знаний I_{min} , и если оно меньше планового времени самостоятельной работы $T_{srs}^{new} < T_{srs}$, то возможна коррекция индивидуального плана для повышения успеваемости на один балл. В противном случае, если $T_{srs}^{new} > T_{srs}$, то повышение успеваемости на один балл при прежней пропускной способности λ становится невозможным.

4. Данные о новом времени T_{srs}^{new} передаются агенту "студент" для проведения скорректированного плана самостоятельных работ.

5. После очередного контроля состояния агента "студент" цикл оптимизации накоплений знаний повторяется.

На основе результатов имитационного эксперимента с применением алгоритмов построения индивидуального плана обучения для каждого студента средний бал по

группе был увеличен на 0,38, что означает, что общая эффективность процесса обучения увеличилась на 10%.

Предлагаемая мультиагентная имитационная модель взаимодействия агентов «Преподаватель» «Студент» в условиях слабоформализуемой задачи передачи и накопления знаний дает возможность идентифицировать и прогнозировать состояние образовательной системы как результат многошагового взаимодействия множества активных элементов системы и среды обучения.

Имитационная модель интеллектуальных агентов с параметрическим описанием их состояния и цели, динамики поведения и взаимодействия с другими агентами позволяет исследовать сложную социальную систему с учетом индивидуальных свойств и персональных особенностей ее активных элементов, а также составлять индивидуальные планы обучения в зависимости от результатов текущей проверки в соответствии с пропускной способностью обучаемых в усвоения учебной информации.

Литература

1. **Ивашкин Ю. А., Назойкин Е. А.** Мультиагентное имитационное моделирование процесса накопления знаний // Программные продукты и системы. 2011. №1. С. 47–52.
2. **Ивашкин Ю. А.** Агентно-ориентированная имитация интеллектуального поведения человека в сложных ситуациях. // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям AIS-IT' 09. Труды конгресса, М.: Физматлит, 2009. Т. 2. С.171–180.
3. **Шмидт Б.** Искусство моделирования и имитации. Введение в имитационную систему Simplex3. Гент, Бельгия: SCS-Европа BVBA, 2003. 615 с.
4. **Ivashkin Y. A., Nazoikin E. A.** Agent-Based Simulation Model of Educational Process in the Student Group // International Conference on Computational Intelligence, Modeling and Simulation. Brno, Czech Republic, 2009. P. 132–137.