

УДК 512.8, 681.55

Н. И. Гурин, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ);
О. В. Герман, кандидат технических наук, доцент (БГТУ); **Ю. О. Герман**, ассистент (БНТУ)

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ С ФУНКЦИЯМИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

В работе рассматриваются вопросы организации процесса обучения в дистанционном режиме на основе компьютерной обучающей системы. Процесс обучения моделируется как взаимодействие двух автоматов «Ученик» и «Учитель» с конечным числом возможных состояний. Приводятся алгоритмы и средства их программной реализации для обеспечения функций виртуального преподавателя, включающие реакции на действия обучаемого, обработку семантических запросов к базе знаний комплекса, текущий и итоговый контроль приобретаемых знаний.

The paper deals with the organization of a learning process in on-line remote mode on the basis of interactive electronic learning program. The learning process is modelled as an interaction of the two automata: «the Teacher» and «the Apprentice» with the final number of states. The algorithmic and programming aspects of the Teacher's functions are considered alongside with the reactions to the Apprentice's behaviour, semantical queries processing and the problem of a current knowledge testing.

Введение. Стремительное развитие информационных и коммуникационных технологий превращает персональный компьютер благодаря доступу к сети Интернет в мобильное рабочее место для получения образования дистанционно, не привязываясь территориально к учреждению образования. *Дистанционное обучение* (ДО) в компьютерной сети без непосредственного присутствия преподавателя естественным образом затрагивает сложнейшие аспекты человеко-машинных обучающих систем, прежде всего, как взаимодействующих систем естественного и искусственного интеллекта.

Образовательная среда ДО по каждой учебной дисциплине должна быть организована в виде *электронного учебно-методического комплекса* (ЭУМК), который включает в электронном виде все учебные материалы, необходимые студенту для изучения данного предмета. Причем учебная информация ЭУМК должна представляться в *мультимедийной форме* (текст, графика, анимация, звук, речь, видео), которая приближает систему ДО к реальности. В составе такого мультимедийного ЭУМК также должны присутствовать динамические и интерактивные элементы:

- 1) анимации изучаемых явлений и процессов;
- 2) имитационные модели для проведения компьютерного эксперимента;
- 3) симуляторы для выполнения виртуальных лабораторных работ (технические дисциплины);
- 4) системы тестовых заданий и опросников для текущего и общего контроля знаний.

Однако такая образовательная среда только предоставляет обучаемому необходимые для изучения учебные материалы. Чтобы реализовать на основе компьютерной образовательной среды процесс обучения, приближенный к традиционному аудиторному обучению, необходимо преобразовать его в *активную обучающую*

среду (АОС) [1], в которой реализованы функции *виртуального преподавателя* (ВП). В работе представлены алгоритмы и принципы их программной реализации для решения основной задачи современной системы ДО – организации процесса обучения в компьютерной сети.

Основная часть. Преобразование компьютерной образовательной среды ДО в АОС требует разработки соответствующих программных модулей, необходимых для обеспечения функций ВП, в частности:

- построение семантической сети учебных объектов ЭУМК;
- создание базы знаний ЭУМК;
- организация активного пользовательского интерфейса с отслеживанием действий обучаемого;
- ведение статистики действий обучаемого и результатов непрерывного контроля усвоения учебного материала;
- выработка индивидуальной образовательной траектории обучения на основе анализа статистики действий и текущего контроля знаний обучаемого;
- организация контекстной интеллектуальной помощи, инициируемой как самим учащимся, так и системой обучения, выступающей в роли ВП;
- разработка семантического анализатора вопросов обучаемого по учебному материалу базы знаний;
- итоговый контроль приобретенных знаний по дисциплине.

Таким образом, мультимедийный ЭУМК с АОС представляет собой *компьютерную обучающую систему* (КОС), архитектура которой включает три взаимодействующих между собой подсистемы:

- 1) реальный «Ученик»;
- 2) виртуальный «Учитель»;
- 3) база знаний ЭУМК.

Для первых двух подсистем разрабатываются соответствующие математические модели, адекватным образом имитирующие поведение объектов «Ученик» и «Учитель» в процессе обучения. Моделью виртуального «Учителя» является автомат с конечным множеством состояний, причем действия, выполняемые автоматом в этих состояниях, могут быть достаточно сложными. «Учитель» может находиться, например, в следующих обобщенных состояниях:

- наблюдение;
- вмешательство;
- ожидание реакции «Ученика»;
- планирование стратегии поведения;
- контроль знаний;
- оценка состояния.

В состоянии «Наблюдение» автомат «Учитель» не вмешивается в процесс обучения, но отслеживает поведение «Ученика», а именно: что просматривает «Ученик» и сколько времени он тратит на данный конкретный материал, просматривает ли он материал в некоторой допустимой последовательности или хаотически и т. д. В состоянии «Наблюдение» автомат «Учитель» анализирует, насколько реализуемая им стратегия поведения адекватно отражается на состоянии «Ученика». Состояние «Наблюдение» может быть прервано с целью вмешательства, контроля знаний или оценки состояния.

Состояние «Вмешательство» предполагает, что «Учитель» обнаружил отклонение от процесса обучения и требует от «Ученика» выполнить определенные действия, например вернуться к конкретному материалу, ответить на вопросы (пройти тест), сделать напоминание о том, что поведение «Ученика» контролируется и оценивается и т. п. Состояние «Вмешательство» может закончиться переходом обратно в состояние «Наблюдение», либо переходом в «Оценка состояния».

«Оценка состояния» соответствует ситуации, когда «Учитель» должен определить, в каком состоянии находится «Ученик». Возможные состояния «Ученика» рассматриваются ниже. Это наиболее сложная задача, родственная задаче распознавания сцен (образов). «Учитель» не может точно знать, что он правильно оценил состояние «Ученика», поэтому он принимает некоторое решение (планирует стратегию поведения) и в последующем проверяет, насколько выбранная им стратегия адекватна складывающейся ситуации.

Отметим, что «Учитель» взаимодействует с моделью «Ученик», т. е. его поведение строится, по сути, на реакциях другого автомата, который играет роль «Ученика». Реальный «Ученик» может вести себя с отклонениями от формальной модели, поэтому от «Учителя» требуется постоянно согласовывать реализуемую

стратегию обучения с отождествляемым на модели состоянием «Ученика».

Состояниями «Ученика» как второго автомата, например, являются:

- 1) целенаправленное изучение;
- 2) отвлечение;
- 3) ознакомительный быстрый просмотр;
- 4) прохождение теста;
- 5) ожидание реакции «Учителя»;
- 6) запрос к «Учителю»;
- 7) прекращение обучения;
- 8) готовность продолжить (начать) обучение;
- 9) непонимание и потребность в помощи.

В состоянии «Оценка состояния» автомат «Учитель» определяет, в каком из приведенных состояний находится «Ученик», и вырабатывает стратегию поведения – переходит в состояние «Планирование стратегии поведения».

Все указанные действия выполняет поведенческий модуль. В своей работе этот модуль использует базу знаний «Учителя», которая содержит поведенческие правила и реакции в различных контекстах обучения. Рассмотрим некоторые из таких правил:

1. Если Состояние_Учителя = «Наблюдение» AND Состояние_Ученика = «Отвлечение» AND Стратегия поведения = «Целенаправленное изучение» AND Анализ_поведения_ученика = «Неудовлетворительный»,

То Выдать_сообщение: «Учитель отключается от процесса с занесением служебного замечания».

2. Если Состояние_Учителя = «Наблюдение» AND Состояние_Ученика = «Отвлечение» AND Стратегия поведения = «Целенаправленное изучение» AND Анализ_поведения_ученика = «Удовлетворительный»,

То Выдать_сообщение «Не отвлекайтесь!» AND Сделать_замечание в протоколе обучения.

3. Если Состояние_Учителя = «Вмешательство» AND Состояние_Ученика = «Запрос к учителю»,

То Выдать_сообщение-приглашение: «Сформулируйте запрос!» и принять

Состояние_Учителя = «Ожидание реакции ученика».

4. Если Состояние_Учителя = «Ожидание реакции ученика» AND Состояние_Ученика = «Выполнение теста» AND Стратегия поведения = «Тестирование»,
То Ожидать_завершения_теста.

Заметим, что запросы к «Учителю» задаются на подмножестве естественного языка.

Таким образом, поведенческая база знаний «Учителя» содержит описание алгоритма поведения в форме продукционных правил. Такие правила требуют создать некоторый язык сценариев (спецификаций). Каждое правило использует в условной части «Состояние Учителя»,

«Состояние Ученика» и реализуемую «Стратегию поведения». Именно все эти три составляющие имеют критическое значение для выработки реакции «Учителя».

Работа поведенческого модуля связана с распознаванием ограниченного подмножества естественного языка, что предполагает создание соответствующего модуля разбора предложений на естественном языке.

Как уже было сказано, оценка состояния «Ученика» необходима для выработки стратегии поведения «Учителя» в изменяющихся условиях. Математически проблема сводится к следующей: «Учитель» по текущему контексту и сигналам от «Ученика» должен оценить, в каком состоянии находится «Ученик». Такими сигналами, например, являются:

- время задержки на текущей странице;
- сложностная оценка (оценка трудности для понимания) текущей страницы;
- число посещений данной страницы;
- переходы между страницами;
- средняя скорость изучения материала страниц;
- уровень адекватности задаваемых «Учеником» вопросов по отношению к просматриваемому материалу;
- успешность ответов на текущие вопросы;
- прохождение тестов;
- частота обращений за помощью к «Учителю»;
- текущая тема;
- общее затраченное время;
- степень хаотичности просмотра материала.

Например, пусть «Ученик» находится в состоянии «Целенаправленное изучение». Время задержки на данной странице с учетом ее сложности статистически значимо превзошло ожидаемое. «Учитель» может оценить новое состояние «Ученика» как «Отвлечение» и задать ему ряд наводящих вопросов, которые должны убедить его в этом или, напротив, опровергнуть. Таким образом, следует понимать, что «Учитель» наверняка не знает истинного состояния «Ученика», но предполагает, что его состояние то или иное в силу распознавания по поступающим сигналам. Разумеется, «Учитель» может ошибиться в оценке состояния «Ученика». Поэтому предусмотрена возможность самому «Ученику» доопределить свое состояние, выдав соответствующий запрос к «Учителю».

Итак, система «Учитель – Ученик» описывается как система взаимодействующих автоматов, причем поведение автомата «Учитель» основано на поведенческой базе знаний, а поведение автомата «Ученик» реализуется «Учителем» гипотетически (модельно) на основании распознавания состояния «Ученика» по сигналам

(признакам). «Учитель» работает «за ученика» в том смысле, что принимает решения о его поведении по поступающим сигналам.

Теоретически эта задача сводится к следующей. Имеется множество логических формул (зависимостей) вида

$$\begin{aligned} f_1(x_1, \dots, x_n) &\rightarrow Y_{i1}(\mu_1), \\ f_2(x_1, \dots, x_n) &\rightarrow Y_{i2}(\mu_2), \\ &\dots \\ f_m(x_1, \dots, x_n) &\rightarrow Y_{im}(\mu_m). \end{aligned}$$

Здесь в левой части записываются комбинации признаков, характеризующих поведение «Ученика». В правых частях указываются состояния «Ученика» и субъективные оценки их правдоподобности. На вход системы поступает вектор признаков:

$$X = \langle x_1(\mu_1), x_2(\mu_2), \dots, x_n(\mu_n) \rangle.$$

Заметим, что и для входного вектора указываются степени достоверности отдельных признаков. Требуется определить состояние «Ученика» Y_j , которое наилучшим образом согласуется с исходными логическими зависимостями и входным вектором признаков. Это типичная задача распознавания на нечетких объектах [2].

Основой функционирования КОС является база знаний мультимедийного ЭУМК, которая является своеобразной «интеллектуальной» моделью содержания ЭУМК, необходимой для взаимодействия с «Учеником» в естественно-языковой форме [3]. Кроме того, особенностью программного интерфейса КОС является использование семантической сети учебных объектов ЭУМК. Семантическая сеть понятий необходима при обработке поступивших запросов от «Ученика» для оценки его компетентности при выполнении тестов или ответе на текущие вопросы.

При семантической обработке вопросов с выводом адекватных ответов используется *семантическая база данных с интерфейсом*, обеспечивающим перевод естественно-языковых запросов в SQL-запросы к базе данных либо разбор на основе механизма транслирующих грамматик. Естественно-языковое предложение рассматривается в упрощенном формате **S-V-O**. Здесь **S** – субъектный блок (блок носителя действия), **V** – блок глагола и **O** – объектный блок (определяющий посредством чего или на что направлено действие). Фрагмент такой базы приводится ниже:

clause(«ЭДС гальванического элемента имеет вид figgibs.gif»),
 clause(«ЭДС зависит от температуры по линейному закону $E = a + bT$ »),

clause («DGT предсказывает тенденцию протекания реакции»),
 clause («прямая реакция термодинамически возможна, если $DGT < 0$ »),
 clause («обратная реакция термодинамически возможна, если $DGT < 0$ »).

На основании этой базы реализуется алгоритм обработки естественно-языкового запроса, который сводится к следующему. Выполняется грамматический разбор предложения-вопроса и формируются наличные блоки S, V и O этого вопроса, а также вопросное слово. Вопросное слово сопоставляется неопределенному блоку. Так, в вопросе «*Чем характеризуется ЭДС?*» определены блоки V, O и не задан блок S. Поэтому дальнейшая процедура обработки сводится к тому, чтобы найти в текстовой базе знаний предложение с таким же блоками S, V, O (из числа определенных в вопросе) и выдать в качестве ответа значение неопределенного в вопросе блока. Эта процедура сводится к просмотру предложений текстовой базы знаний и проверке наличия в просматриваемых предложениях слов из вопроса с учетом возможного их ошибочного написания и падежных окончаний. После определения такого предложения оно также подвергается грамматическому разбору с целью формирования блоков S, V и O этого предложения и сопоставления их с соответствующими блоками вопроса. Практическая реализация описанного подхода показала его достаточно высокую эффективность [2].

Для реализации контроля за процессом изучения учебных материалов КОС разработаны программные модули реакций системы на действия обучаемого, включающие следующие этапы:

- 1) программирование реакции системы для определения момента реакции на действия обучаемого по заданному критерию;
- 2) создание диалогового окна реакции системы с элементами анимации и звукового сопровождения;
- 3) сохранение статистики действий обучаемого в базе данных.

При программировании реакции системы использовались математические функции языка JavaScript, JavaScript-библиотека jQuery и ее расширение jQuery-UI. В частности, для определения значения критерия бессистемного перемещения использовалась функция Лапласа:

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Полученное значение функции сравнивается с заранее установленным преподавателем значением критерия «бессистемного перемещения», который может быть подобран экспе-

риментально, исходя из выбираемой преподавателем педагогической стратегии обучения по данной дисциплине. В случае если полученное значение функции меньше данного критерия, системой будет вызвано диалоговое окно реакции системы, которое делает адекватное замечание студенту с призывом заниматься работой над учебным материалом и предоставляет ему соответствующую помощь.

Система контроля знаний, играющая ключевую роль в любой форме образования, в КОС разделяется на две подсистемы – текущий контроль и итоговый. *Текущий контроль* осуществляется по «инициативе» ВП в ходе непрерывного контроля за процессом обучения. Основанием для выполнения текущего опроса являются факты перехода к новому разделу, нарушение временного графика изучения учебного материала или неадекватные действия «Ученика». *Итоговый контроль* реализуется как отдельное приложение с определенным временным регламентом и обработчиком ответов с учетом их сложности [1].

Основные модули КОС созданы на основе программных платформ XHTML, JavaScript, XML, Flash, Visual Prolog и др. Семантический анализатор запросов к базе знаний реализован средствами Visual Prolog, семантическая сеть – XML и Visual Prolog, система контроля знаний – Flash, XML и ActionScript.

Заключение. Предложенные алгоритмы взаимодействия системы «Ученик – Учитель» как автоматов с конечным множеством состояний из их поведенческой базы реализуют функции виртуального преподавателя, что обеспечивает процесс обучения в системе ДО, приближенный к традиционному обучению с присутствием реального преподавателя в аудитории.

Литература

1. Гурин, Н. И. Интеллектуальный анализатор запросов к базе знаний мультимедийного электронного учебника / Н. И. Гурин, О. В. Герман // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 112–115.
2. Гурин, Н. И. Организация структуры электронной обучающей системы с активным контролем приобретаемых знаний / Н. И. Гурин, О. В. Герман // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2009. – Вып. XVII. – С. 107–110.
3. Герман, О. В. Система вывода для нечеткой логики на основе многозначных исчислений Я. Лукасевича / О. В. Герман, А. Р. Самко, Ю. О. Герман // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 190–192.

Поступила 25.02.2011