

УДК 004.89

НЕЧЕТКАЯ ОВЕРЛЕЙНАЯ МОДЕЛЬ УЧАЩЕГОСЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

Д.И. ПОПОВ, О.Ю. ЛАЗАРЕВА

Статья посвящена вопросам разработки модели учащегося для использования в интеллектуальной обучающей системе (ИОС), предназначенной для оценки компетенций учащихся вузов различных направлений обучения. Приводятся классификация и примеры различных моделей учащегося, выбирается и дорабатывается наиболее подходящая модель для оценки компетенций. Описывается динамическая оверлейная нечеткая модель знаний учащегося, опирающаяся на модель предметной области, основанную на понятии дидактической единицы. Приводятся формулы, схема и диаграммы.

Ключевые слова: интеллектуальная обучающая система, компетенции, оверлейная модель учащегося, дидактическая единица.

В настоящее время развитие информационных технологий привело к кардинальным изменениям в обществе, однако в образовательной сфере эти изменения только начались [18; 11; 9]. Актуальна разработка интеллектуальных обучающих систем [8], в частности, системы, удовлетворяющей требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования третьего поколения, включающего понятие «компетенция» [10].

Интеллектуальная обучающая система (ИОС) – это система электронного обучения, включающая в себя элементы искусственного интеллекта и позволяющая решать задачи построения наиболее подходящей студенту последовательности изучения учебного курса, адаптации курса к знаниям или другим характеристикам студента, интеллектуального анализа решений, помощи в выполнении заданий и интеллектуального мониторинга процесса обучения [4].

В составе ИОС традиционно выделяют четыре составные части [13-15]: модель предметной области, модель учащегося, модуль обучения и пользовательский интерфейс.

В широком смысле под моделью учащегося понимают знания электронной обучающей системы об учащемся, используемые для организации процесса обучения [3]. Её можно рассматривать и как модель текущего состояния знаний и умений учащегося, и как идеальную модель знаний об учащемся, включающую знания о предметной области, типичных ошибках и когнитивных механизмах [7].

Существуют различные классификации моделей учащегося в электронных обучающих системах. Разные типы моделей могут включать такие параметры, как уровень знаний, психологические характеристики, скорость и стиль обучения, процент выполнения заданий, выбранные метод/стратегия обучения [2] и т.д.

Модель знаний учащегося определяет уровень знаний по изучаемому курсу или дисциплине [7]. Модели подразделяются на скалярную и оверлейную [1]. При использовании скалярной модели уровень знаний учащегося оценивается с использованием некоторой интегральной оценки, например, числом по балльной шкале.

Оверлейная модель, в свою очередь, позволяет отобразить, что именно знает и чего не знает обучаемый [7]. В ней знания учащегося представляют собой подмножество знаний эксперта, то есть модели предметной области. Причем степень освоения каждой из единиц знания может быть оценена булевым значением (то есть «знает» или «не знает»), процентным значением («на сколько знает») или вероятностным коэффициентом («какова вероятность, что знает»).

В зависимости от того, как определяются ошибки в знаниях учащегося, можно выделить модели, которые определяют, какие знания учащегося не верны; и модели, которые определяют, в чем они не верны [16].

Так как одной из задач ИОС является осуществление динамической адаптации учебного материала к уровню знаний учащегося, необходимо, чтобы в состав ИОС входила модель учащегося, отражающая имеющиеся и недостающие знания учащегося.

Разрабатываемая ИОС «Электронный учебный центр – вуз» является предметно-независимой, поэтому для ее построения выбрана динамическая оверлейная модель знаний учащегося. Ее использование позволит в каждый момент времени определять, какие единицы знания успешно освоены учеником. Определять, почему именно учащимся была допущена ошибка, и в чем она заключается (недостаток знаний, ошибочные знания, неверное использование знаний, случайные ошибки, умышленные ошибки), в задачи данной системы не входит, ввиду того, что логика рассуждения учащегося не может быть оторвана от предмета, поэтому ее реализация в предметно-независимой системе, в отличие от предметно-ориентированной, не целесообразна.

Модель учащегося, предназначенная для построения ИОС для оценки компетенций выпускников вузов, должна базироваться на модели предметной области ИОС. В модели предметной области можно выделить несколько уровней иерархии. В качестве минимальной структурной единицы учебного материала можно рассматривать дидактическую единицу (ДЕ) – логически самостоятельную часть учебного материала, например, понятие, теорию, закон и т.д. [5].

Каждому из уровней модели предметной области соответствует уровень модели знаний учащегося. Например, на нижнем уровне иерархии в ней располагается множество дидактических единиц (DUE – англ. Didactic Units in Expert model). Ему соответствует множество освоенных дидактических единиц модели знаний учащегося (DUS – англ. Didactic Units in Student model). С учетом того, что учащийся может не полностью знать какую-либо дидактическую единицу, используя теорию нечетких множеств, можно записать следующую формулу

$$DUS = \{(du, \mu_{DUS}(due)) | due \in DUE\}, \quad (1)$$

где DUS – нечеткое множество дидактических единиц модели знаний учащегося; DUE – множество дидактических единиц модели предметной области; due – элементы множества DUE ; $\mu_{DUS}(due)$ – функция принадлежности (характеристическая функция), указывающая в какой степени (мере) элемент due принадлежит нечеткому множеству DUS , при этом можно выделить три случая [12]:

1) $\mu_{DUS}(due) = 1$ означает полную принадлежность элемента due к нечеткому множеству DUS ($due \in DUS$), то есть учащийся полностью освоил данную дидактическую единицу;

2) $\mu_{DUS}(due) = 0$ означает отсутствие принадлежности элемента due к нечеткому множеству DUS ($due \notin DUS$), то есть учащийся вообще не освоил данную дидактическую единицу;

3) $0 < \mu_{DUS}(due) < 1$ означает частичную принадлежность элемента due к нечеткому множеству DUS , то есть учащийся освоил данную дидактическую единицу не полностью.

На рис. 1 приведен пример того, как выглядит радиальная диаграмма нечеткого множества DUS для восьми дидактических единиц, освоенных с разной степенью (значения степеней освоения приведены в табл. 1). DUS идеальное — это множество дидактических единиц модели знаний учащегося при их полном освоении (когда $\mu_{DUS}(due) = 1$ для всех дидактических единиц).

Таблица 1

Степени освоения дидактических единиц

ДЕ	1	2	3	4	5	6	7	8
Степень освоения	1	0,8	1	0,5	0,6	0,5	0,7	0,3

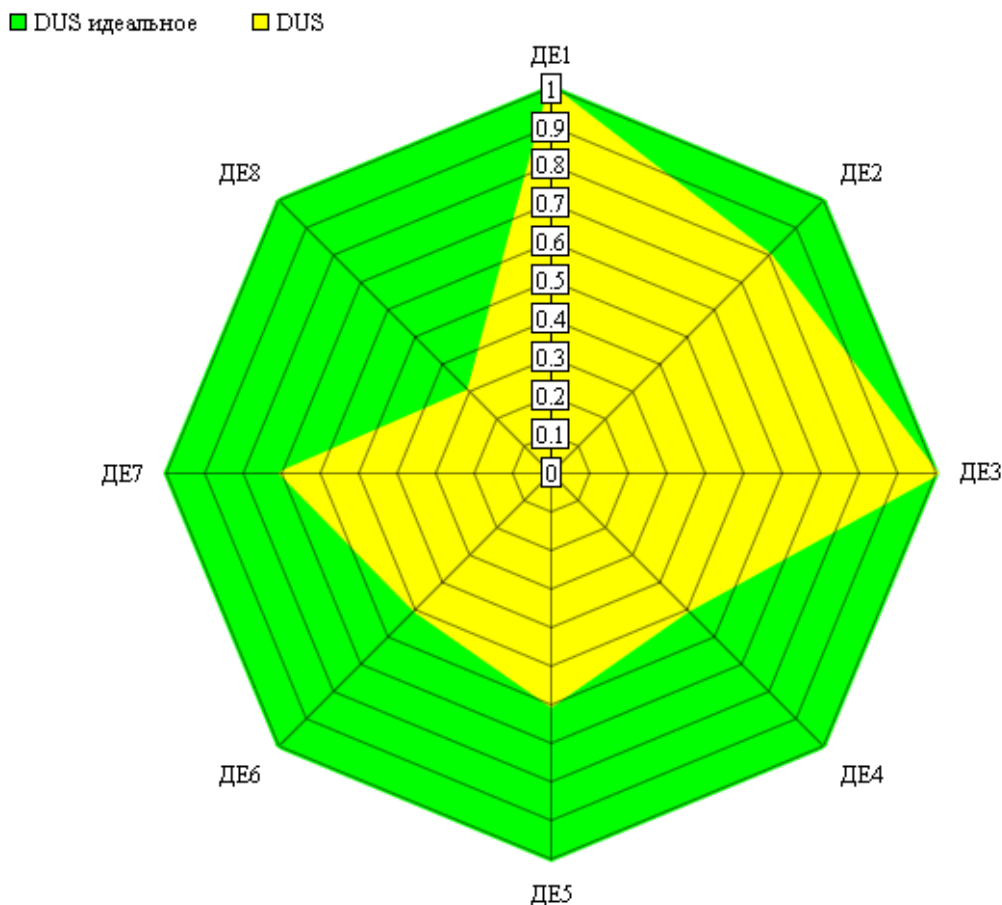


Рис. 1. Радиальная диаграмма нечеткого множества DUS

Степень освоения дидактической единицы рассчитывается исходя из того, как учащийся выполнил тестовые задания, лабораторные и практические работы, связанные с данной дидактической единицей. Если все задания, связанные с данной дидактической единицей, выполнены успешно, то считается, что $\mu_{DUS}(due) = 1$. В противном случае функция принадлежности может быть рассчитана по следующей формуле

$$\mu_{DUS}(due) = \sum_{i=1}^N q_i / N, \tag{2}$$

где $\mu_{DUS}(due)$ – функция принадлежности; i – номер задания (вопроса в тесте, практической или лабораторной работы), связанного с данной дидактической единицей; N – количество заданий для проверки данной дидактической единицы; q_i – результат выполнения i -го задания (равен 1, если задание успешно выполнено, и 0, если задание не выполнено или выполнено не верно).

Данная формула может быть усложнена весовыми коэффициентами для конкретных заданий или типов заданий (вопрос в тесте, лабораторная работа и т.д.).

Оценка степени освоения дисциплины в целом на основе информации о степени освоения дидактических единиц может производиться несколькими путями. В простейшем случае в ИОС по умолчанию задаются определённые параметры, одинаковые для всех дидактических единиц. Например, для всех due :

- ЕСЛИ ($\mu_{DUS}(due) < 0.5$), ТО $G =$ «не освоил»;
- ЕСЛИ ($0.5 \leq \mu_{DUS}(due) < 0.8$), ТО $G =$ «освоил частично»;
- ЕСЛИ ($0.8 \leq \mu_{DUS}(due) < 1$), ТО $G =$ «освоил достаточно»;
- ЕСЛИ ($\mu_{DUS}(due) = 1$), ТО $G =$ «освоил полностью»;

где G – степень освоения дисциплины.

Также указанные выше критерии оценки степени освоения дисциплины, то есть требуемые значения $\mu_{DUS}(due)$ могут быть заданы различными для каждой из дидактических единиц с помощью методов экспертных оценок. Так на рис. 2 приведена диаграмма критериев оценки степени освоения дисциплины, состоящей из восьми дидактических единиц.

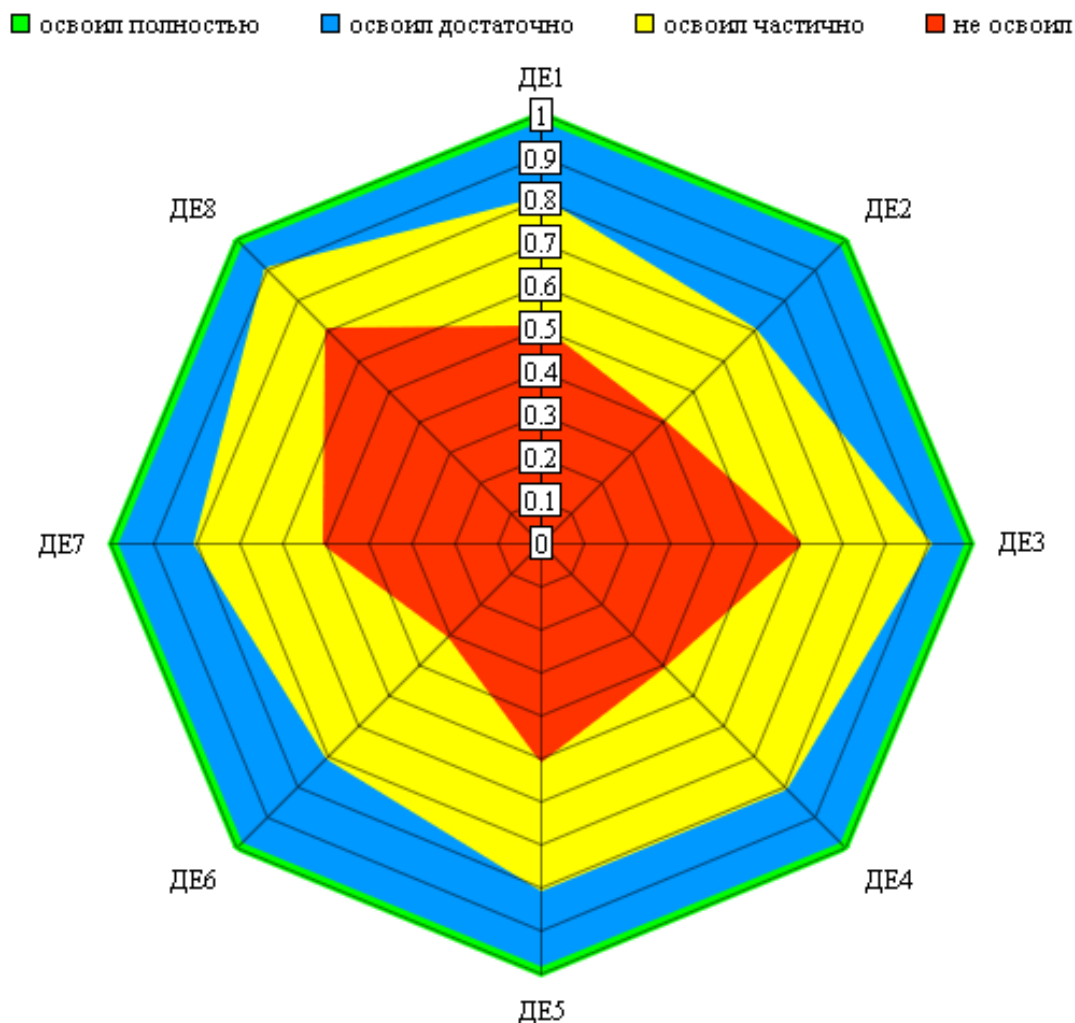


Рис. 2. Радиальная диаграмма критериев оценки степени освоения дисциплины

На диаграмме видны четыре зоны степени освоения: зона № 1 – «не освоил» (g_1); зона № 2 – «освоил частично» (g_2); зона № 3 – «освоил достаточно» (g_3); зона № 4 – «освоил полностью» (g_4).

В случае если степень освоения учащимся каждой из дидактических единиц попадает, например, в зону «освоил частично», то считается, что учащийся частично освоил всю дисциплину. Однако на практике степени усвоения учащимся дидактических единиц редко будут строго соответствовать одной из зон, чаще они будут попадать сразу в несколько зон, как на рис. 3.

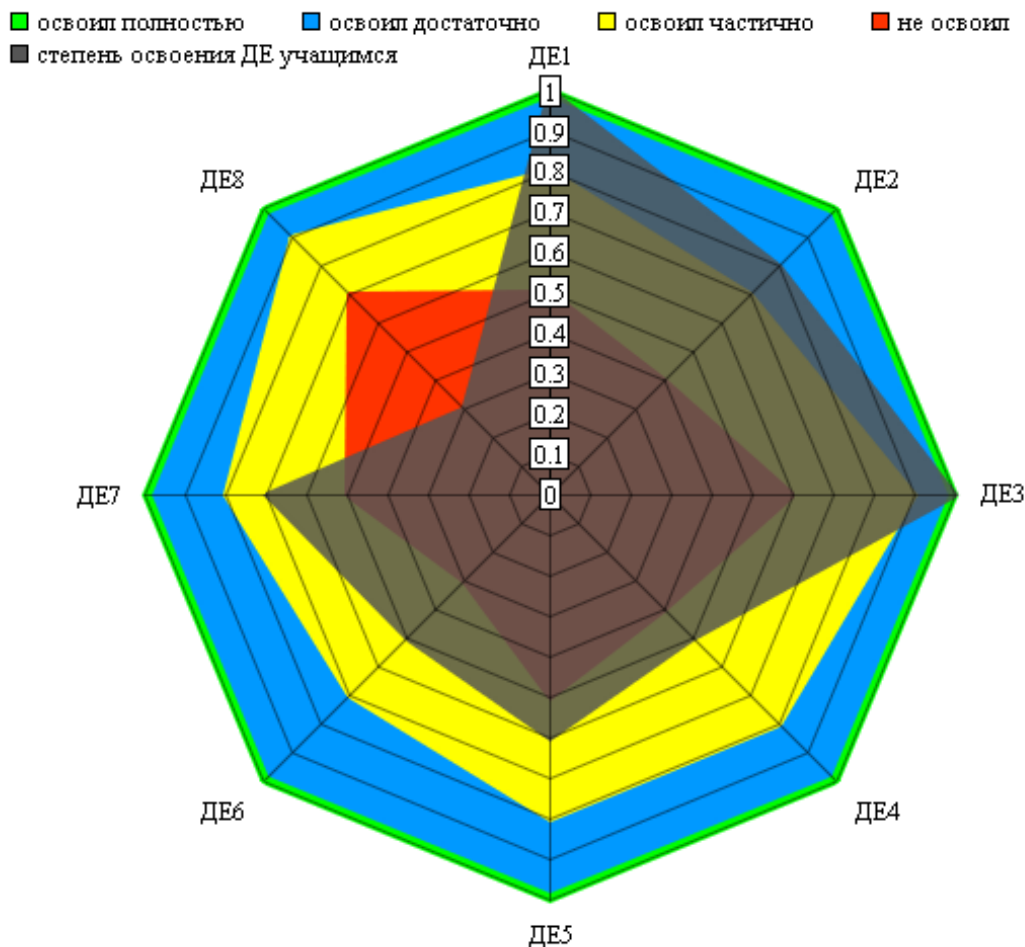


Рис. 3. Диаграмма степени освоения дисциплины учащимся

В данном примере учащийся дважды (ДЕ1 и ДЕ3) достиг наилучшего результата, то есть освоил эти дидактические единицы полностью. Один раз его результат попал в зону «освоил достаточно» (ДЕ2), четыре раза – в зону «освоил частично» (ДЕ4, ДЕ5, ДЕ6, ДЕ7) и один раз – в зону «не освоил» (ДЕ8). Основываясь на этом, можно рассчитать меры принадлежности (μ_i) степени освоения дисциплины учащимся четырём зонам:

1. Зона «не освоил» – $\mu_1 = 1/8 = 0,125$.
2. Зона «освоил частично» – $\mu_2 = 4/8 = 0,5$.
3. Зона «освоил достаточно» – $\mu_3 = 1/8 = 0,125$.
4. Зона «освоил полностью» – $\mu_4 = 2/8 = 0,25$.

Выбрав максимальное из полученных значений (μ_2), можно сделать вывод, что в данном примере ученик освоил данную дисциплину частично. Меры принадлежности (μ_i) степени освоения дисциплины учащимся четырём зонам могут быть рассчитаны по следующей формуле

$$\mu_i = Q_i / M, \tag{3}$$

где i – номер зоны (от 1 до 4); Q_i – количество дидактических единиц, степень освоения которых учащимся попадает в i -ю зону; M – количество дидактических единиц.

Зная меры принадлежности (μ_i), степень освоения дисциплины (G) можно определить следующим образом:

- ЕСЛИ ($\mu_1 = \text{MAX} (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$), ТО ($G = \text{«не освоил»}$);
- ЕСЛИ ($\mu_2 = \text{MAX} (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$), ТО ($G = \text{«освоил частично»}$);

ЕСЛИ ($\mu_3 = \text{MAX}(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$), ТО ($G = \text{«освоил достаточно»}$);

ЕСЛИ ($\mu_4 = \text{MAX}(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$), ТО ($G = \text{«освоил полностью»}$).

В общем виде эти определения можно записать следующим образом:

ЕСЛИ ($\mu_i = \text{MAX}(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$), ТО ($G = g_i$).

Аналогичным образом можно оценить степень освоения компетенции на основе информации о степенях освоения каждой из дисциплин, её формирующих.

Помимо модели знаний в модели учащегося также следует сохранять информацию о его активности в системе. В одной из интеллектуальных обучающих систем под названием IDEAL особое внимание уделяется взаимодействию между системой и учащимся исходя из предположения, что учащиеся, активно работающие с системой, скорее достигнут положительных результатов [17]. Статистика об активности работы в системе (времени, датам и продолжительности изучения лекций, прохождения тестирований и т. д.) может использоваться для оценки добросовестности, ответственности, самостоятельности работы и скорости усвоения материала студентами, что, в свою очередь, может использоваться рекомендательной подсистемой ИОС или преподавателями вуза. Эта статистика может храниться в модели пользовательской активности учащегося и учитываться при оценке сформированности компетенций.

Таким образом, модель учащегося, состоящую из модели знаний учащегося и модели пользовательской активности учащегося, можно использовать не только для эффективной помощи студенту в процессе обучения, но и для наиболее полной оценки его знаний, умений, навыков, способности к обучению, умения использовать полученную информацию, личностных характеристик и т.д. Все это вместе составляет компетенции учащегося [6].

Адаптивность системы во многом зависит от известных сведений о знаниях учащегося, именно поэтому модель учащегося играет особую роль при разработке ИОС. Так как некоторые дидактические единицы изучаются в рамках нескольких дисциплин, имея информацию о том, насколько хорошо учащийся освоил ту или иную дидактическую единицу, можно в последующих курсах предоставлять ему информацию разных уровней сложности. Например, если учащийся не полностью освоил данную дидактическую единицу, можно сначала предоставить ему более простой вариант лекции, а в случае успешного прохождения учащимся тестирования – более сложный материал.

Использование предложенной динамической оверлейной нечеткой модели знаний учащегося позволяет определять степень освоения дидактических единиц, а также компетенций, благодаря связи между ними, дисциплинами, материалами курсов и дидактическими единицами. Таким образом, разрабатываемая интеллектуальная обучающая система «Электронный учебный центр – вуз», предназначенная для поддержки учебного процесса, контроля знаний и оценки компетенций учащихся в течение всего времени обучения в вузах различных направлений обучения, ориентирована на российскую систему высшего образования и Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования третьего поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусиловский П.Л. Построение и использование моделей обучаемого в интеллектуальных обучающих системах // *Техническая кибернетика*. 1992. № 5. С. 97-119.
2. Буль Е.Е. Сравнительный анализ моделей обучаемого / *Телематика'2003: труды X Всероссийской науч.-методич. конф.* СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. С. 362-364.
3. Коляда М.Г. Виды моделей, обучаемых в автоматизированных обучающих системах // *Искусственный интеллект*. 2008. № 2. С. 28-33.
4. Лазарева О.Ю. Использование SWI-Prolog в веб-ориентированной интеллектуальной обучающей системе / *Актуальные проблемы современной науки: сб. статей Международной науч.-практич. конф. (1 августа 2014 г., г. Уфа)*. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 11-16.

5. Лазарева О.Ю. Когнитивная карта предметной области в интеллектуальной обучающей системе / *Научно-образовательная информационная среда XXI века: материалы VIII Международной науч.-практич. конф. (15-18 сентября 2014 года)*. Петрозаводск, 2014. С. 134-137.
6. Лазарева О.Ю. Профилирование пользователей в интеллектуальных обучающих системах / *Информационная среда вуза XXI века: материалы VII Международной науч.-практич. конф. (23-27 сентября 2013 года)*. Петрозаводск, 2013. С. 135-137.
7. Петрушин В.А. *Экспертно-обучающие системы*. К.: Наукова думка, 1992.
8. Попов Д.И. Проектирование интеллектуальных систем дистанционного образования // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2001. Т. 22. № 4. С. 325-332.
9. Попов Д.И., Демидов Д.Г. Адаптивная стратегия обучения персонала предприятий // *В мире научных открытий*. 2011. № 9. С. 65-71.
10. Попов Д.И., Комолова Т.И., Попова Е.Д., Якубовский К.И. Особенности формализации компетентностного подхода при обучении в области полиграфии и издательского дела // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. 2013. № 3. С. 106-112.
11. Попов Д.И., Якубовский К.И., Демидов Д.Г. Нечеткая модель выбора тестовых заданий для аттестации персонала полиграфических предприятий // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. 2014. № 3. С. 3-9.
12. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы* / пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
13. Freedman R. What is an intelligent tutoring system? // *Intelligence*. 2000. № 11 (3). Pp. 15-16.
14. Mizoguchi R. Student Modeling in ITS // Chan, T.W., Self., J. (eds.) *Emerging Technologies in Education*. AACE. 1995. Pp. 35-48.
15. Nkambou R., Mizoguchi R., Bourdeau J. *Advances in intelligent tutoring systems*. Heidelberg: Springer. 2010. Pp. 1-11.
16. Nwana H.S. Intelligent tutoring systems: An overview // *Artificial Intelligence Review*. 1990. № 4 (4). Pp. 251-277.
17. Shang Y., Shi H., Ghen S. An Intelligent Distributed Environment for Active Learning // *ACM Journal on Educational Resources in Computing*. 2001. № 1 (2). Pp. 1-17.
18. Woolf B.P. *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann, 2010.

THE FUZZY OVERLAY STUDENT MODEL IN AN INTELLIGENT TUTORING SYSTEM

Popov D.I., Lazareva O.Yu.

The article is devoted to the development of the student model for use in an intelligent tutoring system (ITS) designed for the evaluation of students' competencies in different Higher Education Facilities. There are classification and examples of the various student models, the most suitable for the evaluation of competencies is selected and finalized. The dynamic overlay fuzzy student model builded on the domain model based on the concept of didactic units is described in this work. The formulas, chart and diagrams are provided.

Keywords: intelligent tutoring system, competencies, overlay student model, didactic unit.

REFERENCES

1. Brusilovskij P.L. Postroenie i ispol'zovanie modelej obuchaemogo v intellektual'nykh obuchajushhikh sistemakh. *Tekhnicheskaja kibernetika*. 1992. № 5. Pp. 97-119. (In Russian).
2. Bul' E.E. Sravnitel'nyjj analiz modelej obuchaemogo. *Telematika'2003: trudy X Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii*. SPb.: SPbGU ITMO. 2003. Pp. 362-364. (In Russian).
3. Koljada M.G. Vidy modelej, obuchaemykh v avtomatizirovannykh obuchajushhikh sistemakh. *Iskusstvennyjj intellekt*. 2008. № 2. Pp. 28 -33. (In Russian).
4. Lazareva O.Yu. Ispol'zovanie SWI-Prolog v veb-orientirovannoj intellektual'noj obuchajushhejj sisteme. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (1 avgusta 2014g, g. Ufa)*/ Ufa: Aehterna. 2014. Pp. 11-16. (In Russian).
5. Lazareva O.Yu. Kognitivnaja karta predmetnoj oblasti v intellektual'noj obuchajushhejj sisteme. *Nauchno-obrazovatel'naja informacionnaja sreda XXI veka: materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (15-18 sentjabrja 2014 goda)*. Petrozavodsk. 2014. Pp. 134-137. (In Russian).

6. **Lazareva O.Yu.** Profilirovanie pol'zovatelej v intellektual'nykh obuchajushhikh sistemakh. *Informacionnaja sreda vuza XXI veka: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (23-27 sentjabrja 2013 goda)*. Petrozavodsk. 2013. Pp. 135-137. (In Russian).
7. **Petrushin V.A.** *Ehkspertno-obuchajushhie sistemy*. K.: Naukova dumka. 1992. (In Russian).
8. **Popov D.I.** Proektirovanie intellektual'nykh sistem distancionnogo obrazovanija. *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2001. T. 22. № 4. Pp. 325-332. (In Russian).
9. **Popov D.I., Demidov D.G.** Adaptivnaja strategija obuchenija personala predpriyatij. *V mire nauchnykh otkrytij*. 2011. № 9. Pp. 65-71. (In Russian).
10. **Popov D.I., Komolova T.I., Popova E.D., Jakubovskij K.I.** Osobennosti formalizacii kompetentnostnogo podkhoda pri obuchenii v oblasti poligrafii i izdatel'skogo dela. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*. 2013. № 3. Pp. 106-112. (In Russian).
11. **Popov D.I., Jakubovskij K.I., Demidov D.G.** Nechetkaja model' vybora testovykh zadaniij dlja attestacii personala poligraficheskikh predpriyatij. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izda-tel'skogo dela*. 2014. № 3. Pp. 3-9. (In Russian).
12. **Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L.** *Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy*: per. s pol'sk. I.D. Rudinskogo. M.: Gorjachaja linija – Telekom. 2006. (In Russian).
13. **Freedman R.** What is an intelligent tutoring system? *Intelligence*. 2000. № 11 (3). Pp. 15-16.
14. **Mizoguchi R.** Student Modeling in ITS. Chan, T.W., Self., J. (eds.) *Emerging Technologies in Education*. AACE. 1995. Pp. 35-48.
15. **Nkambou R., Mizoguchi R., Bourdeau J.** *Advances in intelligent tutoring systems*. Heidelberg: Springer. 2010. Pp. 1-11.
16. **Nwana H.S.** Intelligent tutoring systems: An overview. *Artificial Intelligence Review*. 1990. № 4 (4). Pp. 251-277.
17. **Shang Y., Shi H., Ghen S.** An Intelligent Distributed Environment for Active Learning. *ACM Journal on Educational Resources in Computing*. 2001. № 1 (2). Pp. 1-17.
18. **Woolf B.P.** *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann. 2010.

Сведения об авторах

Попов Дмитрий Иванович, 1971 г.р., окончил ТРТИ (1993), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой информатики и информационных технологий МГУП им. Ивана Федорова, автор более 130 научных работ, область научных интересов – интеллектуальные системы дистанционного образования и тестирования, автоматизация и управление процессами аттестации персонала предприятий и учащихся учебных заведений, Интернет-технологии, математическое и программное обеспечение ЭВМ и сетей.

Лазарева Ольга Юрьевна, окончила МГУП им. Ивана Федорова (2012), аспирантка МГУП им. Ивана Федорова, автор 8 научных работ, область научных интересов – интеллектуальные обучающие системы, системы управления обучением, Web-технологии.