

УДК 004.8, 004.93, 159.95

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА КОЛЛАБОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМ С ЧАСТИЧНЫМ ЗНАНИЕМ

© 2016 И.М. Куликовских, С.А. Прохоров, С.А. Сучкова, Е.В. Матыцин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.11.2016

В работе рассматриваются аспекты поведения систем с частичным знанием в условиях стимулирования и совместного обучения. Предложены нечеткие модели для описания поведения систем и даны определения оценивания уровня частичного знания с нечетко заданными когнитивными уровнями при самостоятельном и совместном обучении. Разработанные модели были положены в основу комплексной системы коллаборативного обучения, для которой было приведено описание и реализуемые функции.

Ключевые слова: коллаборативное обучение, частичное знание, когнитивный уровень, нечеткое множество, адаптивное обучение

*Работа выполнена при государственной поддержке
Министерства образования и науки РФ (грант № 074-U01).*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Коллаборативное обучение является педагогическим подходом, который помогает повысить эффективность обучения [1], [2]. Всесторонний анализ данной области знаний показал, что этот вид обучения приводит к более глубокому освоению материала, тогда как студенты обучают друг друга, заполняя пропуски в знаниях. При коллаборативном обучении студенты рассматривают различные перспективы и, таким образом, отчетливо формулируют собственные идеи и отстаивают свою точку зрения. Основа коллаборативного обучения была заложена Л. Выготским (1930) [3]. Предложенная им концепция обучения, названная *зоной ближайшего развития* (the zone of proximal development), ставит вопрос об целесообразности использования тестов как инструмента для оценивания уровня знаний студентов. Согласно данной концепции для измерения истинного уровня знаний необходимо оценить способность решать задачи как самостоятельно, так и в группе. Однако измерение уровня знаний студентов, выполняющих задания в группе, является сложной задачей.

Один из способов стимулирования процесса коллаборации и, в то же время, оценивания

Куликовских Илона Марковна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий. E-mail: kulikovskikh.i@gmail.com

Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий. E-mail: sp.prokhorov@gmail.com

Сучкова Светлана Анатольевна, кандидат филологических наук, специалист, НОЦ-403. E-mail: s.suchkova@gmail.com

Матыцин Ефим Владимирович, студент 2 курса магистратуры факультета информатики. E-mail: mr.brazz@gmail.com

индивидуального уровня знаний каждого из участников дискуссии заключается в применении *кликеров* (clickers) [4-8]. Множество исследований отмечают эффективность использования кликеров, так как данный метод способствует активному обучению через вовлечение студентов [2], [9]. Так, например, авторы работы [10] использовали кликеры для тестирования текущего материала на аудиторных занятиях. На первом этапе, студенты отвечали на поставленный вопрос после обсуждения. Затем, им был задан похожий вопрос, но они отвечали самостоятельно. Смит и др. [10] проанализировали более высокий процент правильных ответов после обсуждения и предложили два возможных объяснения: результат концептуального понимания или следствие выбора ответа, предлагаемого более знающим участниками коллаборативного обучения. Авторы данного исследования сделали вывод о том, что обсуждение привело к лучшему результату, даже если ни один из участников не знал правильного ответа. Описанное исследование позволило продвинуться в решении существенной проблемы определения границы между действительным обучением в результате коллаборации и влиянием мнения других участников совместного обучения, что как результат, формирует *частичные знания*. Тем не менее, данные частичные знания могут быть результатом неосознанно воспринятой информации или *праймингом* [11, 12], что остается незатронутым и, таким образом, требует более тщательного рассмотрения и более точных алгоритмов оценивания уровня знаний.

В данной работе была поставлена задача разработки моделей и инструмента для регуляции уровня частичных знаний при коллаборативном обучении.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

В работе [13] была отмечена целесообразность применения аппарата нечетких множеств для описания процессов принятия решений при обучении и различных когнитивных моделей поведения, что отмечается и в работе [14], а также представлена нечеткая модель оценивания уровня частичных угадываний при ответе на вопросы с множественным выбором, но без учета возможности коллаборации. Опишем данную модель в виде следующего определения.

Определение 1. Пусть U – нечеткое множество, описывающее ответы обучаемых на задания с множественным выбором с учетом чистого угадывания, а L – уровень частичного знания, связанный с когнитивным уровнем таксономии Блума. Тогда моделью оценивания частичного знания называется

$$L = \{u, \mu_L(u) | u \in U\}, \quad (1)$$

где $\mu_L(u): U \rightarrow [0,1]$ – функция принадлежности $L \subset U$.

Обобщим Определение 1, построенное на нечетком множестве 1-ого рода, на случай совместного обучения. Следующее определение использует понятие интервального нечеткого множества 1-ого рода и позволяет задать модель оценивания частичного знания в условиях коллаборации.

Определение 2. Пусть $A([0,1])$ – совокупность всех закрытых подинтервалов в диапазоне $[0,1]$, для которых справедливо [12]

$$A([0,1]) = \{u = [\underline{u}, \bar{u}] | (\underline{u}, \bar{u}) \in [0,1]^2 \cup \underline{u} \leq \bar{u}\}.$$

Тогда моделью оценивания уровня частичного знания в условиях совместного обучения называется отображение

$$L: X \rightarrow A([0,1]), \quad (2)$$

для которого степень принадлежности $u \in U$ задается $L(u) = [L(\underline{u}), L(\bar{u})] \in A([0,1])$, где $\underline{L}: U \rightarrow [0,1]$ и $\bar{L}: U \rightarrow [0,1]$ – отображения, определяющие нижнюю и верхнюю границы интервала $L(u)$.

Дальнейшее обобщение связано с исключением основной проблемы нечетких множеств 1-ого рода, а именно неопределенности в выборе числовых значений степеней принадлежности. Как отмечалось ранее, нечеткие модели (1) и (2) не учитывают сложность, связанную с формированием заданий (инструкций) в соответствии с заданным уровнем мышления. Таким образом, используем понятие нечеткого множества 2-ого рода для дополнения Определения 1 [15-18]. Основываясь на идеях Л. Заде [19], Мизумото и Танака [20] впервые представили математическое

определение нечеткого множества 2-ого рода, которое было формализовано в работах [18], [21-23].

Определение 3. Пусть $u \in U$ – ответы с частичным знанием, где $U \neq \emptyset$; $x \in J_u$, $J_u \subseteq [0,1]$, где J_u – первичная функция принадлежности (функция принадлежности 1-ого рода) ответов с частичным знанием заданному значению уровня мышления; $\mu_L(x, u)$ – вторичная функция принадлежности (функция принадлежности 2-ого рода), описывающая принадлежность заданных значений уровней мышления действительным когнитивным уровням. Тогда моделью оценивания уровня частичного знания с нечетко заданными когнитивными уровнями называется

$$L = \{(u, x), \mu_L(x, u) | u \in U, x \in J_u\}, \quad 0 \leq \mu_L(u, x) \leq 1,$$

где $J_u = \{(u, x): u \in [\underline{\mu}_L(u), \bar{\mu}_L(u)]\}$ или

$$L = \int_{u \in U} \int_{x \in J_u} \frac{\mu_L(u, x)}{(u, x)}, \quad \text{где } \int \int \text{ обозначает}$$

объединение всех допустимых (u, x) .

Как частный случай Определения 3 и обобщение Определения 2, введем следующее определение.

Определение 4. Моделью оценивания уровня частичного знания с нечетко заданными когнитивными уровнями в условиях совместного обучения называется

$$L = \{(u, x), \mu_L(x, u) | u \in U, x \in J_u\}, \quad \mu(u, x) = 1,$$

где J_u задано согласно Определению 5.

Использование аппарата нечетких множеств 2-ого рода позволяет строить более сложные гипотезы. Так, например, в работах [24], [25] авторы исследуют влияние вида функции принадлежности на вариации в принятии решений и в степени вносимой неопределенности. При проведении анализа использовались различные методы создания функции принадлежности 2-ого рода: сдвиг центральных точек первичных функций принадлежности, изменение ширины шаблона и формы, огибающей функцию принадлежности 1-ого рода. Для вариации формы огибающей в систему с нечеткой логикой добавлялся «белый шум» и с помощью метода Монте-Карло анализировались параметры, оказывающие влияние на процесс принятия решения.

Для описания совместного принятия решения в нечеткой логике вводится понятие мультигранулированного нечеткого лингвистического моделирования, которое предполагает определение нескольких наборов нечетких множеств [26], [27]. Данный подход полезен для описания процесса принятия решения, когда несколько людей с различными уровнями знаний описывают каждый элемент с различной точностью и, в связи с этим,

требуется более, чем один лингвистический термин. Таким образом, мультигранулированное нечеткое моделирование подходит для описания группового принятия решения из-за предоставляемой возможности выражения личных предпочтений с использованием собственного набора лингвистических терминов.

В рамках данной работы в основу созданных моделей поведения положена идея тестирования с множественным выбором, которая в общем случае не предполагает оперирования с лингвистическими терминами, но предполагает, что восприятие того или иного задания в зависимости от уровня сложности и уровня мышления обучаемого может быть различным. Однако в предположении адекватности созданных тестовых заданий и их привязки в таксономии Блума [28], [29], рассмотрение мультигранулированных нечетких лингвистических множеств было опущено, хотя представляет существенный интерес для дальнейших исследований.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для реализации и последующей апробации разработанных моделей оценивания уровня

частичного знания была создана комплексная система коллаборативного обучения, структурная схема которой представлена на рис. 1.

Комплексная система разрабатывалась в терминах пространственной схемы взаимодействия объектов [30]. Данная подсистема состоит из девяти пронумерованных функциональных блоков, соединенных между собой соответствующими ключами: {5,6}, {5,7}, {6,8}, {7,8}, {8,9}, {8,10}, {9,10}, {9,11}, {9,12}, {10,13}, {11,12}, {12,13}. Роль входной пары в данной подсистеме играет {A,u}, где A: {X}, X – множество уровней сложности [31,32]; $u \in U$, $h: X \times u \rightarrow u$, h – модель поведения при тестировании [32]. Каждый функциональный блок предназначен для решения конкретной поставленной задачи, однако результатом функционирования подсистемы является формирование модели оценивания/регулирования частичности знаний в условиях стимулирования и коллаборации, что отмечено соответствующим выходным ключом, где точка задает исходное функциональное/информационное подпространство.

Задачи, решаемые функциональными блоками 1-9, формулируются следующим образом:

1. Блок формирования тестовых заданий [32]:

а. задача формирования образовательного контента в соответствии с таксономией Блума;



Рис. 1. Структурная схема комплексной системы коллаборативного обучения

b. задача создания инструкций и тестовых заданий согласно виду тестирования (в данной работе рассматривается тестирование с множественным выбором);

2. Блок тестирования [31]:

a. задача проверки результатов тестирования;

b. задача выявления проблемных заданий, переформулирование и изменение порядка представления заданий;

3. Блок программной обработки событий и контроля поведения:

a. задача обработки событий, возникающих при тестировании заданного вида: количества и последовательности кликов при выборе дистракторов, активности окна с текущим заданием, возврата к окну предыдущего задания или перехода к окну следующего, пропуска задания (с/без срабатывания клика и с/без ввода ответа (включает событие клика));

b. задача контроля времени срабатывания событий в выделенный интервал тестирования;

4. Блок статистического анализа и формулирования гипотез:

a. задача проведения статистического анализа, включающего: описательную статистику (математическое ожидание и СКО для контрольных групп), -тест, проверку адекватности и надежности составленных заданий α -Кронбаха); построение графических зависимостей в виде гистограмм и диаграмм размаха;

b. задача формулирования гипотез поведения при тестировании в условиях стимулирования и коллаборации для контрольных групп с различным когнитивным уровнем и для заданий различной сложности, требующих низкие уровни мышления (LOTS) и высокие (HOTS);

c. задача обоснования справедливости (доказательства) сформулированных гипотез на основе проведенного статистического анализа и анализа результатов обработчика событий, используемого для корректировки (уточнения) описательной статистики;

5. Блок создания моделей поведения в условиях стимулирования:

a. задача построения модели поведения в условиях стимулирования;

b. задача математического описания построенных моделей;

c. задача проверки адекватности созданных моделей поведения при реальном тестировании контрольной группы в условиях стимулирования;

6. Блок создания моделей поведения в условиях стимулирования и совместного обучения:

a. задача построения модели поведения в условиях стимулирования и коллаборации;

b. задача математического описания построенных моделей;

c. задача проверки адекватности созданных моделей поведения при реальном тестировании контрольной группы в условиях стимулирования и коллаборации;

7. Блок оценивания частичности знаний c :

a. задача определения параметра частичности знаний c в зависимости от уровня мышления и сложности задания;

b. задача построения модели поведения с частичным знанием $h_c: X \times (u, c) \rightarrow u$;

c. задача регулирования частичности знаний $h_c: X \times (u, c) \rightarrow c$;

8. Блок нечеткого оценивания частичности знаний c_u :

a. задача формирования вектора $c_u = L$ согласно модели оценивания уровня частичного знания через определение нечетких множеств 1-ого рода (см. *Определение 1*);

b. задача формирования вектора $c_u = L$ согласно модели оценивания уровня частичного знания с нечетко заданными когнитивными уровнями через определение нечетких множеств 2-ого рода (см. *Определение 3*);

c. задача построения нечеткой модели поведения с частичным знанием в условиях стимулирования $h_{c_u}: X \times (u, c_u) \rightarrow u$;

d. задача регулирования частичности знаний в условиях стимулирования $h_{c_u}: X \times (u, c_u) \rightarrow u$;

9. Блок нечеткого оценивания частичности совместных знаний c_u :

a. задача формирования вектора $c_u = L$ согласно модели оценивания уровня частичного знания при совместном обучении через определение интервальных нечетких множеств 1-ого рода (см. *Определение 2*);

b. задача формирования вектора $c_u = L$ согласно модели оценивания уровня частичного знания с нечетко заданными когнитивными уровнями при совместном обучении через определение интервальных нечетких множеств 2-ого рода (см. *Определение 4*);

c. задача построения нечеткой модели поведения с частичным знанием в условиях стимулирования и коллаборации $h_{c_u}: X \times (u, c_u) \rightarrow u$;

d. задача регулирования частичности совместных знаний в условиях стимулирования и коллаборации $h_{c_u}: X \times (u, c_u) \rightarrow c_u$, решение которой с помощью ключа передается в выходное пространство.

Как часть комплексной системы, на рис. 2 приведены экранные формы системы адаптивного обучения на основе коллаборативной фильтрации, ранее описанной в [33], которая объединяет и реализует функциональные блоки 1-3.

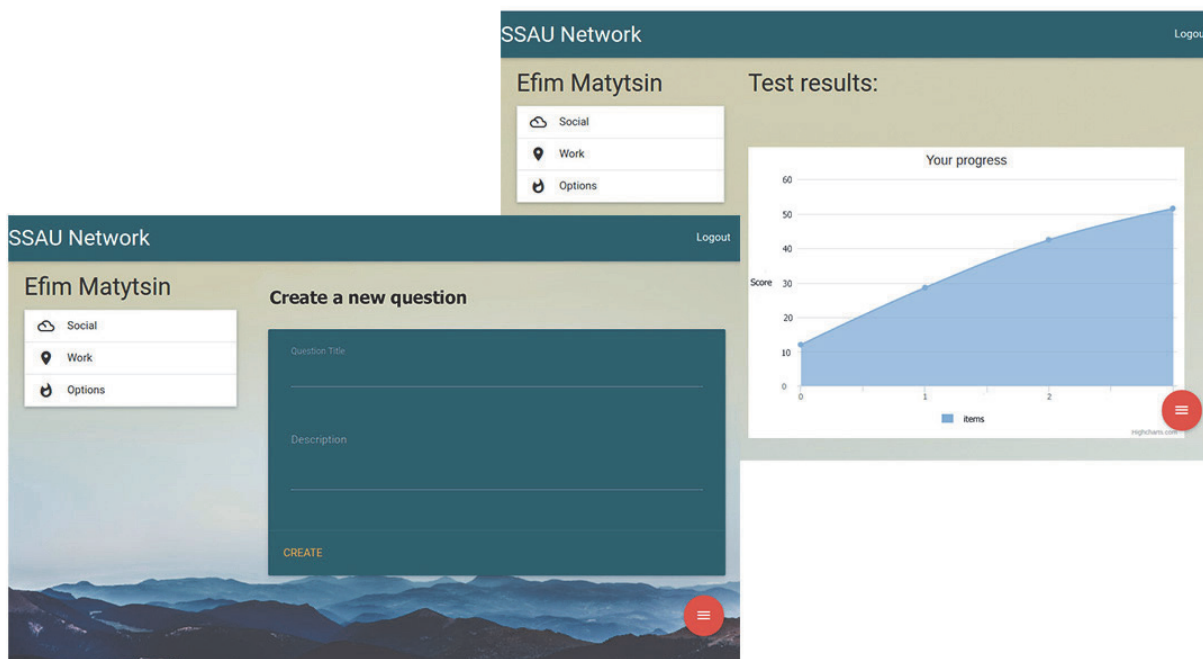


Рис. 2. Экранные формы системы адаптивного обучения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Using clickers in class. The role of interactivity, active collaborative learning and engagement in learning performance / L. Blasco-Arcas, I. Buil, B. Hernandez-Ortega, F. Javier Sese // Computers & Education. 2013. 62. pp.102-110.
- McDonough K., Foote J.A. The impact of individual and shared clicker use on students' collaborative learning // Computers & Education. 2015. 86. Pp.236-249.
- Vygotsky L.S. Mind in society: The development of higher psychological processes. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1978. 174 p.
- Brady M., Seli H., Rosenthal J. «Clickers» and metacognition: A quasi-experimental comparative study about metacognitive self-regulation and use of electronic feedback devices // Computers & Education. 2013. 65. Pp. 56-63.
- Cook R. Calkins S. More than recall and opinion: Using «clickers» to promote complex thinking // Journal on Excellence in College Teaching. 2013. 24(2). Pp. 51-76.
- Lantz M.E. The use of «Clickers» in the classroom: Teaching innovation or merely an amusing novelty // Computers in Human Behavior. 2010. 26(4). Pp.556-561.
- Lantz M.E., Stawiski A. Effectiveness of clickers: Effect of feedback and the timing of questions on learning // Computers in Human Behavior. 2014. 31. Pp.280-286.
- Clickers in college classrooms: Fostering learning with questioning methods in large lecture classes / R.E. Mayer, A. Stull, K. DeLeeuw, K. Almeroth, B. Bimber, D. Chun, et al. // Contemporary Educational Psychology. 2009. 34. Pp.51-57.
- Chien, Y-T., Chang Y.-H., Chang C.-Y. Do we click in the right way? A meta-analytic review of clicker-integrated instruction // Educational Research Review. 2016. 17. Pp.1-18.
- Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions / M.K. Smith, W.B. Wood, W.K. Adams, C. Wieman, J.K. Knight, N. Guild, et al. // Science. 2009. 323. Pp.122-124.
- Неосознанно воспринятая информация как основа принятия решения о принадлежности к классу / В.Ю.Карпинская, Н.С.Куделькина, Ю.Ю.Карпинская, Ю.Е.Шилов // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 1(4). С.891-896.
- Шилов Ю.Е. Когнитивные аспекты изучения бессознательного в современной психологии // Известия Самарского научного центра РАН. 2015.Т. 17, № 1(4). С.907-912.
- Prokhorov S.A., Kulikovskikh I.M. Fuzzy learning performance assessment based on decision making under internal uncertainty // 7th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC 2015). Colchester, UK, 2015. pp. 65-70.
- Карпинская В.Ю. Владыкина Н.П., Шилов Ю.Е. Классификация в процессе зрительного восприятия // Известия Самарского научного центра РАН. 2015.Т. 17. №1(3).С. 642-650.
- Interval type-2 fuzzy sets are generalization of interval-valued fuzzy sets: Towards a wider view on their relationship / H. Bustince, J. Fernandez, H. Hagrass, M. Pagola, E. Barrenechea // IEEE Tran. On Fuzzy Sets. 2014. DOI: 10.1109/TFUZZ.2014.2362149.
- Almohammadi K., Hagrass H. An interval type-2 fuzzy logic based system for customised knowledge delivery within pervasive e-learning platform // Systems, Man and Cybernetics: Proc. 2013 IEEE International Conference on. Manchester, UK, 2013. pp.2872-2879.
- Chen S.-M., Chang Y.-C. Fuzzy rule interpolation based on principle membership functions and uncertainty grade functions of interval type-2 fuzzy sets // Expert Systems with Applications. 2011. 38. Pp. 11573-11580.
- Mendel J.M., John R.I.B. Type-2 fuzzy sets made simple/J.M. Mendel // IEEE Tran. On Fuzzy Sets. 2002. 10(2). Pp. 117-127.
- Zadeh L.A. Interval type-2 fuzzy logic systems: Theory and design // Inf. Sci. 1971. 3. Pp. 159-176.
- Mizumoto M., Tanaka K. Interval type-2 fuzzy logic systems: Theory and design // Inf. Control. 1976. 31. Pp. 312-340.

21. *Goguen J.* Fuzzy rule interpolation based on principle membership functions and uncertainty grade functions of interval type-2 fuzzy sets // *J. Math. Anal. Appl.* 1967. 18. Pp. 145-174.
22. *Karnik N.N., Mendel J.M., Liang Q.* Type-2 fuzzy logic systems // *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 1999. 7(6). Pp. 643-658.
23. *Mendel J.M., John R.I.B.* Type-2 fuzzy sets made simple // *IEEE Tran. On Fuzzy Sets.* 2002. 10(2). Pp. 117-127.
24. *Garibaldi J.M., Ozen T.* Uncertain Fuzzy Reasoning: A Case Study in Modelling Expert Decision Making // *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 2007. 15(1). Pp. 16-30.
25. *Ozen T., Garibaldi J.M.* Effect of type-2 fuzzy membership function shape on modelling variation in human decision making // *Fuzzy Systems: The proceedings of IEEE International Conference on. Budapest, Hungary, 2004.* Pp. 971-976.
26. *Meng F., Chen X.* A new method for group decision making with incomplete fuzzy preference relations // *Knowledge-Based Systems.* 2015. 73. Pp. 111-123.
27. On multi-granular fuzzy linguistic modeling in group decision making problems: A systematic review and future trends / *J.A. Morente-Molinera, I.J. Perez, M.R. Urena, E. Herrera-Viedma* // *Knowledge-Based Systems.* 2015. 74. Pp. 49-60.
28. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain / *B.S. Bloom (Ed.), M.D. Engelhart, E.J. Furst, W.H. Hill, D.R. Krathwohl.* - New York: David McKay, 1956. 207 p.
29. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives / *L.W. Anderson (Ed.), D.R. Krathwohl (Ed.), P.W. Airasian, K.A. Cruikshank, R.E. Mayer, P.R. Pintrich, J. Raths, M.C. Wittrock.* New York: Longman, 2001. 336 p.
30. *Прохоров С.А., Куликовских И.М.* Создание комплекса программ на основе пространственной схемы взаимодействия объектов // *Программные продукты и системы.* 2012. № 3. С.5-8.
31. *Прохоров С.А., Куликовских И.М.* Система адаптивного обучения на основе иерархических конечных автоматов // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2015. Т. 17. № 2(5). С.1087-1091.
32. *Прохоров С.А. Сучкова С.А., Куликовских И.М.* Кластеризация диагностических тестов при изучении предлогов английского языка в соответствии с таксономией Блума // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2015. Т. 17. № 2(5). С.1097-1103.
33. Система адаптивного обучения на основе коллаборативной фильтрации / *С.А. Прохоров, С.А. Сучкова, Е.В. Матыцин, И.М. Куликовских* // *Перспективные информационные технологии (ПИТ-2016): материалы Международной конференции.* Самара, 2016. С. 150-156.

COMPLEX SYSTEM FOR COLLABORATIVE LEARNING BASED ON FUZZY MODELS TO DESCRIBE SYSTEMS BEHAVIOR WITH PARTIAL KNOWLEDGE

© 2016 I.M. Kulikovskikh, S.A. Prokhorov, S.A. Suchkova, E.V. Matytsin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

This paper considers the aspects of systems behavior with partial knowledge in motivation and collaborative learning environment. We propose fuzzy models to describe the behavior of these systems, which allow us to provide the definitions of partial knowledge level both in self-learning and collaborative learning if Bloom's cognitive levels are fuzzy. Those models are used to develop a complex system for collaborative learning presented in the form of block diagrams and implemented functions.

Keywords: collaborative learning, partial knowledge, cognitive level, fuzzy set, adaptive learning.

Ilona Kulikovskikh, PhD, Associate Professor of Information System and Technologies Department.

E-mail: kulikovskikh.i@gmail.com

Sergej Prokhorov, D.Sc., Professor, Head of Information Systems and Technologies Department.

E-mail: sp.prokhorov@gmail.com

Svetlana Suchkova, PhD, Associate Professor, Expert in Research and Education Center (REC-403).

E-mail: s.suchkova@gmail.com

Efim Matytsin, Second-Year Master's Student of Computer Science Faculty. E-mail: mr.brazz@gmail.com