

4. Galushkin A.I. Teoriya neyronnykh setey [The theory of neural networks]. Moscow: IPRZh «Radiotekhnika», 2000, 416 p.
5. Extensible Markup Language. (XML) 1.0. W3C Recommendation. Available at: <http://www.w3.org/TR>.
6. The SGML/XML Web Page-Extensible Markup Language (XML). Available at: <http://www.oasis-open.org/cover/xml.html>.
7. Simard P.Y. Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis, Microsoft, pp. 23-24.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Ф. Гузик.

Витиска Николай Иванович – Таганрогский государственный педагогический институт; e-mail: vit614294@rambler.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48; тел.: 88634601892; кафедра информатики; профессор.

Буханцева София Константиновна – e-mail: sophia.btv@gmail.com; кафедра информатики; аспирантка.

Vitiska Nikolay Ivanovich – Taganrog Pedagogical University; e-mail: vit614294@rambler.ru; 48, Initsiativnaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634601892; the department of information science; professor.

Bukhantseva Sophia Konstantinovna – e-mail: Sophia.btv@gmail.com; the department of information science; postgraduate student.

УДК 681.3

Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, П.А. Панасенко

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОМАНД*

Описан процесс формулирования нечетких команд на основе перечислительного и аналитического представления функций принадлежности. Нечеткая команда может быть сформулирована, как на основе одного, так и на основе двух частично противоречивых условий, заданных функциями принадлежности. На основе нечетких команд разработан алгоритм управления поиском проектных решений. Задание степени соответствия перечислением кортежей позволяет строить графики функций принадлежности произвольной формы, но при этом требуемые ресурсы памяти возрастают пропорционально частоте дискретизации. Использование аналитического способа задания функции принадлежности чисел приблизительно близких к x , за счет изменения параметра θ , дает возможность получать графики симметричные относительно x . Аналитическая запись функции принадлежности позволяет минимизировать зависимость от частоты дискретизации предметной области. В качестве способа остановки алгоритма предлагается использовать автомат адаптации. Изменение глубины памяти автомата адаптации позволяет корректировать инерционность процесса поиска приемлемого решения. Применение нечетких команд ускоряет управление вычислительным процессом, использование автоматов адаптации позволяет корректировать получаемые результаты.

Нечеткие данные; адаптация; принятие решений; интеллектуальные системы; оптимизация.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты: № 12-01-00474, 13-01-00343).

Yu.O. Chernyshev, N.N. Ventsov, P.A. Panasenko

**ALGORITHM OF MAKING DESIGN DECISIONS BASED ON FUZZY
COMMANDS**

The paper describes the process of formulating fuzzy based command enumeration and analytical representation of membership functions. Fuzzy command can be formulated as on the basis of one, and on the basis of two partially contradictory conditions specified by the membership function. Based on fuzzy teams developed the algorithm of search of design decisions. Assignment degree of compliance, listing tuples allows you to plot the membership functions of arbitrary shape, but in this case the required memory resources will increase in proportion to the frequency of sampling. The use of analytical way to set membership function numbers approximately close to x , due to the change of the parameter q , gives the opportunity to get graphics symmetric with respect to x . Analytical record of the membership function allows to minimize dependence on the sampling frequency domain. As a way of algorithm stopping is proposed to use the machine adaptation. Depth change memory of the machine adaptation allows you to adjust the inertia of the process of finding the optimal solution. The use of fuzzy teams to quickly manage the computing process, the use of machines adaptation allows you to adjust the results obtained.

Fuzzy data; adaptation; decision making; intelligent systems; optimization.

Анализ проблемной области. В процессе разработки изделия проектировщики ограничены временными лимитами, а на практике также требованиями к качеству изделия, указанными в техническом задании. Подходы, гарантирующие получение оптимальных решений, используются достаточно редко, ввиду высокой временной сложности, в тоже время большинство современных алгоритмов не гарантируют получение глобального оптимума. Относительно новым алгоритмическим инструментом решения проектных задач являются идеи, основанные на моделировании эволюционных процессов, например, методы моделирования отжига, генетические алгоритмы, автоматы адаптации. Несмотря на известные недостатки (зависимость итогового решения от начального, большой объем вычислений на каждой итерации, трудности, связанные с представлением исходной задачи в виде адаптивной системы), данные подходы обладают существенным достоинством – возможностью получать субоптимальные решения за небольшое, как правило, полиномиальное время. При этом существует априорно неизвестная вероятность улучшения полученного ранее субоптимального решения [1–6].

Из-за высокой временной сложности решаемых задач проектирование СБИС, как правило, реализуется на основе итерационных процедур, с периодическим повторением реализованных ранее этапов. В ходе выполнения очередной итерации в проект СБИС вносятся локальные изменения, способствующие, по мнению экспертов, улучшению разрабатываемого изделия. Сущность изменений в ряде случаев может состоять в дополнительной локальной оптимизации решенных ранее проектных задач, например, покрытия, разбиения, трассировки, компактизации и других как для всей проектируемой схемы, так и для некоторой её части. Таким образом, на практике проектирование элементов СБИС сводится не к нахождению глобальных оптимумов, а к поиску некоторых компромиссных, приемлемых по мнению разработчиков решений.

Постановка задачи. Важным этапом функционирования алгоритма оптимизации является процедура завершения (остановки). В случае, если известно оптимальное значение целевой функции, приемлемым считается решение отклоняющееся от оптимального не более, чем на заданную величину ε . Однако решение многих практических задач оптимизации априорно, как правило, не известно. В подобных ситуациях признаком окончания работы алгоритма оптимизации считают комбинацию условий не превышения допустимого времени работы с нахождением приемлемого решения [1, 7–9].

На ранних итерациях, ввиду сложности проектируемых СБИС, определить точную систему ограничений не всегда возможно, в тоже время целесообразно задать некоторые интуитивно обоснованные предпочтения, способствующие в дальнейшем получению приемлемых решений. Поэтому целесообразно использовать команды, содержащие нечеткие условия. При размещении элементов, в качестве ограничения, может использоваться длина полупериметра (L), описывающего все элементы, связанные с цепью. В данном случае, примером нечеткой команды может быть команда «разместить элементы таким образом, чтобы длина полупериметра прямоугольника, описывающего размещаемые элементы, была близка к $0,7 \text{ nm}$ ». Указанная команда содержит в себе нечеткое условие $\alpha_1 =$ «длина полупериметра близка к $0,7 \text{ nm}$ », определяющее, ограничение как «сверху» (так как существенное увеличение длины полупериметра может привести к тому, что проектируемый модуль не возможно будет разместить в отведенной для него области), так и «снизу», так как слишком компактное размещение элементов может привести к проблемам, связанным с электромагнитной и тепловой совместимостью.

Предлагаемый подход. Возвращаясь к приведенному примеру степень принадлежности $\mu_{\alpha_1}(L)$ выражению «длина полупериметра близка к $0,7 \text{ nm}$ » можно задать графиком (рис.1). В простейшем случае график можно построить перечислением кортежей $\langle L, \mu(L) \rangle$, где L – рассматриваемая длина полупериметра, $\mu(L)$ – степень соответствия рассматриваемой длины полупериметра нечеткому выражению α_1 . Для любого кортежа справедливо $0 \leq \mu(L) \leq 1$. Преимуществом данного подхода является возможность задания графика произвольной формы, недостатком – рост количества кортежей с увеличением частоты дискретизации.

В случае, если необходима большая концентрация решений в области « $0,7 \text{ nm}$ », можно применить оператор $\text{CON}(\check{A}) = \check{A}^2$, т.е. возвести в квадрат исходные степени принадлежности [10]. Степени принадлежности исходного выражения α_1 , возведенные в квадрат, образуют новую функцию α_2 , которую словесно можно описать как «длина полупериметра очень близка к $0,7 \text{ nm}$ » (рис. 1).

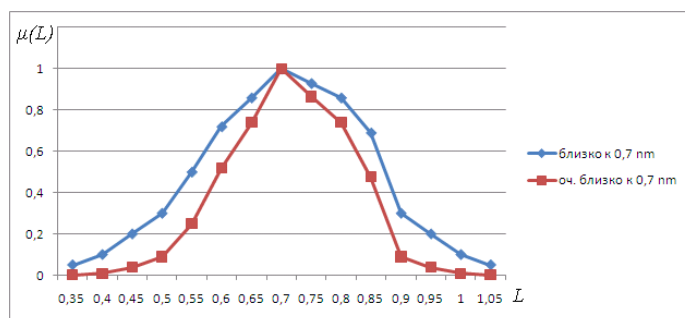


Рис. 1. Зависимость степеней принадлежности $\mu_{\alpha_1}(L)$ и $\mu_{\alpha_2}(L)$ выражениям α_1 и α_2 от длины полупериметра L

Функция «длина полупериметра очень близка к $0,7 \text{ nm}$ », повышает четкость описания ограничений, но, в ряде случаев, может потребовать существенного увеличения вычислительных ресурсов для решения задачи, так как повышение четкости описания ограничений сужает область допустимых (корректных) решений.

Если по каким-то причинам получение корректного решения, соответствующего ограничениям «длина полупериметра очень близка к $0,7 \text{ nm}$ » или «длина полупериметра близка к $0,7 \text{ nm}$ », затруднительно, можно повысить расплывчатость ограничения, тем самым увеличив область допустимых решений: для этого можно использовать операцию $\text{DIL}(\check{A}) = \check{A}^{0,5}$, т.е. извлечь квадратный корень из исходных

степеней принадлежности $\mu_{\alpha 1}(L)$ [10]. Полученные таким образом степени принадлежности образуют новую функцию $\alpha 3$, которую, словесно можно описать как «длина полупериметра слегка близка к 0,7 nm» (рис. 2). Из данных представленных на рисунке (см. рис. 1) и рис. 2 следует, что несимметричность графика, относительно кортежа $\langle 0,7, \mu(0,7) \rangle$, соответствующего выражению $\alpha 1$, сохраняется в графиках, соответствующих выражениям $\alpha 2$ и $\alpha 3$.

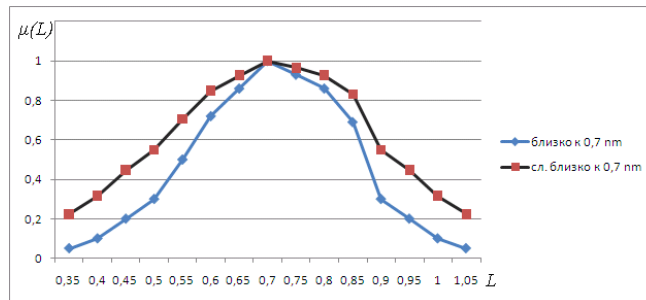


Рис. 2. Зависимость степеней принадлежности $\mu_{\alpha 1}(L)$ и $\mu_{\alpha 3}(L)$ выражениям $\alpha 1$ и $\alpha 3$ от длины полупериметра L

Несимметричность графиков, соответствующих условиям $\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3$, можно трактовать, как свидетельство некоторого доминирования в рассматриваемом случае условий, требующих разнесенного размещения элементов (например, тепловая совместимость) над условиями, требующими компактного размещения (минимизация площади схемы).

В качестве альтернативного (аналитического) способа задания функции принадлежности чисел, приблизительно близких к x , можно использовать формулу [11]:

$$\mu_x(L) = e^{-\tau(x-L)^2},$$

где τ зависит от требуемой степени нечеткости $\mu_x(L)$ и определяется из выражения

$$\tau = -\frac{4 \ln 0,5}{\theta^2},$$

где θ расстояние между точками перехода т.е. такими значениями L_1 и L_2 $\mu_x(L_1) = \mu_x(L_2) = 0,5$.

Из данных, представленных на рис. 3 следует, что параметр θ позволяет корректировать четкость/расплывчатость графика степени принадлежности $\mu(L)$. При этом сохраняется симметричность графика относительно кортежа $\langle 0,7; \mu(0,7) \rangle$.

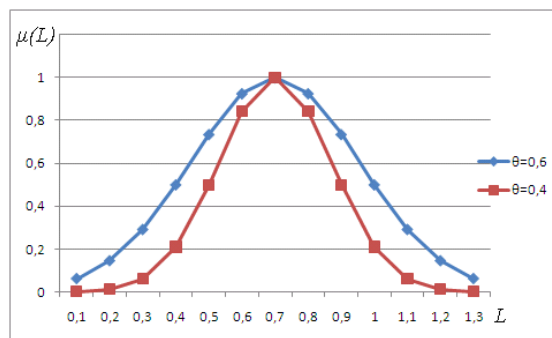


Рис. 3. Влияние параметра θ на график степени принадлежности $\mu(L)$

При проектировании СБИС необходимо учитывать большое количество ограничений, обусловленных различными факторами: энергосбережением, теплоотведением так далее. Разные по своей природе факторы накладывают ограничения, как в запрещающей, так и в разрешающей форме. В связи с чем, необходимо разрабатывать подходы, анализирующие нечеткие ограничения независимо от формы представления. Определим нечеткий график zL , определяющий степень принадлежности $\mu_{\alpha 4}(L)$ длины полупериметра к выражению $\alpha 4$ = «не желательная длина полупериметра». Альтернативный график rL будет определять степень принадлежности $\mu_{\alpha 5}(L)$ длины полупериметра к выражению $\alpha 5$ = «желательная длина полупериметра» (рис. 4).

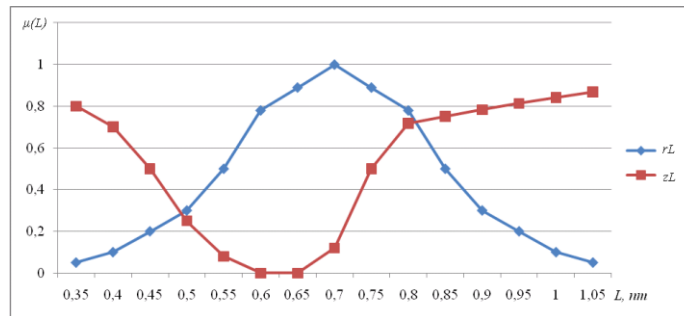


Рис. 4. Степени принадлежности $\mu_{\alpha 4}(L)$ и $\mu_{\alpha 5}(L)$ длины полупериметра L к выражениям $\alpha 4$ и $\alpha 5$

Тогда в качестве результирующего можно использовать выражение, основанное на степени включения zL в rL (рис. 5). Операция включения rL в zL на основе логики Лукасевича определяется как [10]:

$$\mu_{\alpha 5}(L) \rightarrow \mu_{\alpha 4}(L) = 1 \& (1 - \mu_{\alpha 5}(L) + \mu_{\alpha 4}(L)).$$

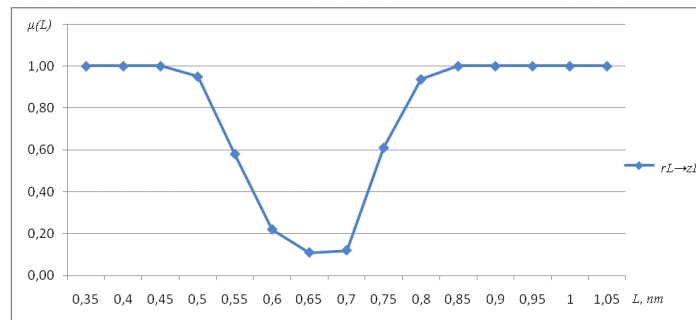


Рис. 5. Степень принадлежности, полученная в результате выполнения операции $\mu_{\alpha 5}(L) \rightarrow \mu_{\alpha 4}(L)$ длины полупериметра L

Сопоставив данные, отображенные на рисунках 4, 5 (см. рис. 4, 5), можно заключить, что наименьшие значения графика $f_{54}(L) = \mu_{\alpha 5}(L) \rightarrow \mu_{\alpha 4}(L)$ (рис. 5) соответствуют таким длинам полупериметра L , для которых значения функции $\mu_{\alpha 5}(L)$, характеризующей степень допустимости данной длины, максимальны, а значения функции $\mu_{\alpha 4}(L)$, характеризующей степень нежелательности данной длины, минимальны. Таким образом, в точках минимума функции $\mu_{\alpha 5}(L) \rightarrow \mu_{\alpha 4}(L)$ наблюдается наибольшее доминирование степени допустимости соответствующей длины L над нежелательностью. Условие, которое описывает график $f_{54}(L)$ обозначим как об.

После того, как определен способ задания нечеткой команды (условия), необходимо определить критерий соответствия получаемого решения нечеткой команде. Будем считать, что решение r_i является корректным (допустимым) по отношению к условиям $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, если $\mu_\alpha(l_i) > \mu_{\text{доп}}$, где l_i – длина полупериметра, соответствующая решению r_i ; $\mu_{\text{доп}}$ – допустимая степень соответствия. Решение r_i будет трактоваться как корректное по отношению к условию α_6 , если $\mu_\alpha(l_i) < \mu_{\text{зап}}$, где $\mu_{\text{зап}}$ – граница не допустимой степени соответствия.

Так как, априорно не возможно определить наличие решения, удовлетворяющего заданным ограничениям, в качестве способа остановки алгоритма можно использовать автомат адаптации (рис. 6).

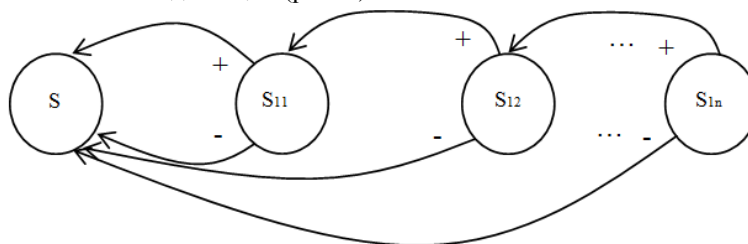


Рис. 6. Схема предлагаемого автомата адаптации

Начало работы алгоритма управления процессом поиска проектного решения соответствует состоянию S_{1n} . После того, как алгоритм выполнит заданное количество итераций, на основе таблицы, осуществляется выработка управляющего сигнала. При реализации нечетких команд $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ выработка сигнала «+» для состояний $S_{1n}-S_{11}$ означает, что найдено решение, степень соответствия которого выше минимально допустимого, что, в свою очередь, означает прекращение дальнейшего поиска решения (автомат адаптации переходит в состояние S_0 , соответствующее завершению работы алгоритма).

Таблица

Выработка сигналов

Условие	Альтернатива	Управляющий сигнал
$\mu(l_i) < \mu_{\text{доп}}$	A1	+
$\mu(l_i) \geq \mu_{\text{доп}}$	A1	-
$\mu(l_i) > \mu_{\text{зап}}$	A1	+
$\mu(l_i) \leq \mu_{\text{зап}}$	A1	-

Выработка сигнала «+» в состояниях $S_{1n}-S_{12}$, означает, что степень соответствия полученного решения нечеткому высказыванию ниже минимально допустимой, поэтому необходимо продолжить поиск решения. В случае, если автомат адаптации находится в состоянии S_{11} , и вырабатывается сигнал «+», то поиск решения завершается, в связи с выполнением заданного числа итераций (так как автомат адаптации перешел в состояние S_0). В случае реализации команды α_6 вырабатываются противоположные управляющие сигналы на основе сопоставления полученных результатов с величиной $\mu_{\text{зап}}$.

Заключение. Разработан алгоритм управления поиском проектных решений на основе нечетких команд. Нечеткая команда может быть сформулирована, как на основе одного, так и на основе двух частично противоречивых условий, заданных функциями принадлежности. В качестве способа остановки алгоритма предлагается использовать автомат адаптации. Изменение глубины памяти автомата адаптации позволяет корректировать инерционность процесса поиска оптимального ре-

шения. Задание функции принадлежности перечислением кортежей позволяет строить графики произвольной формы, но при этом требуемые ресурсы памяти возрастают пропорционально частоте дискретизации. Использование аналитического способа задания функции принадлежности чисел, за счет изменения параметра θ , приблизительно близких к x позволяет строить графики симметричные относительно x . Аналитическая запись функции принадлежности позволяет минимизировать зависимость от частоты дискретизации предметной области. Применение нечетких команд ускоряет управление вычислительным процессом, использование автоматов адаптации позволяет корректировать получаемые результаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
2. Chambers Ed.L. Practical Handbook of Genetic Algorithms. – Washington. USA, CRC Press, 1999.
3. Holland John H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. USA: University of Michigan, 1975.
4. Donath W.E. et al. Timing Driven Placement Using Complete Path Delays Proc. ACM // IEEE DAC. – 2008.
5. Курейчик В.М. Биоинспирированный поиск с использованием сценарного подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 7-12.
6. Cong J., Fang J., Xie M. and Zhang Y. MARS–A multilevel full-chip gridless routing system // IEEE Trans Comput.-Aided Design Integr. Syst. – 2005. – Vol. 24, № 3. – P. 382-394.
7. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Мухтаров С.А. Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки улучшения промежуточных решений оптимизационных задач // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – № 5 (66). – С. 68-76.
8. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Мухтаров С.А. К вопросу об интеллектуальной поддержке процесса доводки СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 63-69.
9. Walter Banks, Gordon Hayward. Fuzzy logic in embedded microcomputers and control systems. Published by Byte Craft Limited, Waterloo Ontario Canada, 2001.
10. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженьюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
11. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумберг О.А. и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. – Рига: Зинатне, 1982. – 256 с.
12. Венцов Н.Н. Разработка алгоритма управления процессом адаптации нечетких проектных метаданных // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 76-80.
13. Kennedy J. The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge // In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation. – 1997. – P. 303-308.
14. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н. Применение автомата адаптации при разработке адаптивного алгоритма оптимизации доступа к данным // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 113-119.
15. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
16. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. К. Асаи, Д. Ваида, С. Иваи и др. / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 386 с.
17. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 92-98.
18. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Дасгутт Д.: Пер. с англ. / Под ред. А.А. Романюхи. – М.: Физматлит, 2006. – 344 с.
19. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь 1982. – 432 с.
20. Zade L.A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338.

REFERENCES

1. *Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B.* Poiskovaya adaptatsiya: teoriya i praktika [Search adaptation: theory and practice]. Moscow: Fizmatlit, 2006, 272 p.
2. *Chambers Ed.L.* Practical Handbook of Genetik Algorithms. Washington. USA, CRC Press, 1999.
3. *Holland John H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. USA: University of Michigan, 1975.
4. *Donath W.E. et al.* Timing Driven Placement Using Complete Path Delays Proc. ACM, *IEEE DAC*, 2008.
5. *Kureychik V.M.* Bioinspirovannyi poisk s ispolzovaniem stsenarnogo podkhoda [Biospherology search using a scenario approach], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 7-12.
6. *Cong J., Fang J., Xie M. and Zhang Y.* MARS—A multilevel full-chip gridless routing system, *IEEE Trans Comput.-Aided Design Integr. Syst.*, 2005, Vol. 24, No. 3, pp. 382-394.
7. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A.* Razrabotka algoritma intellektualnoy podderzhki uluchsheniya promezhutochnykh resheniy optimizatsionnykh zadach [Development of algorithm of intellectual support improvements intermediate solutions of optimization problems], *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Don State Technical University], 2012, No. 5 (66), pp. 68-76.
8. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A.* K voprosu ob intellektualnoy podderzhke protsessa dovodki SBIS [To the question of intellectual support of the process of VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 63-69.
9. *Walter Banks, Gordon Hayward.* Fuzzy logic in embedded microcomputers and control systems. Published by Byte Craft Limited, Waterloo Ontario Canada, 2001.
10. *Malyshev N.G., Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V.* Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR [Fuzzy logic expert system to CAD]. Moscow: Ehnergoatomizdat, 1991, 136 p.
11. *Borisov A.N., Alekseev A.V., Krumberg O.A. i dr.* Modeli prinyatiya resheniy na osnove lingvisticheskoy peremennoy [Model of decision making on the basis of linguistic variable]. Riga: Zinatne, 1982, 256 p.
12. *Ventsov N.N.* Razrabotka algoritma upravleniya protsessom adaptatsii nechetkikh proektnykh metadannykh [Development of the algorithm of adaptive management fuzzy project metadata], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin Don], 2012, Vol. 19, No. 1, pp. 76-80.
13. *Kennedy J.* The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 1997, pp. 303-308.
14. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N.* Primenenie avtomata adaptatsii pri razrabotke adaptivnogo algoritma optimizatsii dostupa k dannym [The use of automatic adaptation in the development of adaptive algorithm for optimizing data access], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 113-119.
15. *Zade L.A.* Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions]. Moscow: Mir, 1976, 165 p.
16. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Application of fuzzy systems]: Per. s yapon. K. Asai, D. Watada, S. Iwai i dr. Pod redaktsiey T. Tehrano, K. Asai, M. Sugehno. Moscow: Mir, 1993, 386 p.
17. *Kureychik V.M.* Osobennosti postroeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Features of construction of systems of support of decision making], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 92-98.
18. *Artificial Immune Systems and Their Applications.* Editor by D. Dasgupta. Springer-Verlag, 1999, 306 p. (Russ. ed.: Romanyukha A.A. *Iskusstvennye immunnye sistemy i ikh primeneniye*, Moscow: Fizmatlit, 2006, 344 p.).
19. *Kofman A.* Vvedeniye v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]: Per. s franc. Moscow: Radio i svyazj, 1982, 432 p.
20. *Zade L.A.* Fuzzy sets, *Information and Control*, 1965, Vol. 8, pp. 338.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Б.К. Лебедев.

Венцов Николай Николаевич – Донской государственный технический университет; e-mail: vencov@list.ru; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; тел.: 88632738582; кафедра информационных технологий; доцент.

Чернышев Юрий Олегович – e-mail: myvnn@list.ru; кафедра автоматизации производственных процессов; профессор.

Панасенко Павел Александрович – тел.: 88612681525; д.т.н.

Ventsov Nikolay Nikolaevich – Don State Technical University; e-mail: vencov@list.ru; 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, Russia; phone: +78632738582; the department of information technologies; associate professor.

Chernyshev Yury Olegovich – e-mail: myvnn@list.ru; the department of automation of production processes; professor.

Panasenko Pavel Alexandrovich – phone: +78612681525; dr. of eng. sc.

УДК 002.53:004.89

Ю.А. Кравченко

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА УРОВНЯ ЗНАНИЙ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ*

Разработана нечеткая модель анализа уровня знаний субъекта обучения, позволяющей определить наличие и степень сформированности необходимых профессиональных компетенций. Использование методов нечеткого моделирования позволит учесть естественные процессы, связанные с потерей некоторой части знаний в течение длительного промежутка времени, и создать корректную прогнозную модель остаточных знаний в долговременной памяти. Рассмотрены возможности нечеткого моделирования в задаче поддержки принятия решений при формировании индивидуальных траекторий обучения. Учтена особенность нелинейности структуры системы обучения, требующей интеллектуального подхода к планированию учебного процесса на всем его протяжении. Рассмотрено развитие подходов к построению специализированных нечетких моделей представления разнородных предметных знаний для интеллектуальных информационных систем в условиях неопределенности с подробным изучением подходов обработки различных частей разнородных предметных знаний. Под разнородными знаниями подразумеваются все предметные знания эксперта о составе и структуре электронного ресурса, представленного в интеллектуальной системе управления знаниями с целью получения обучаемым необходимого уровня составляющих компетентности в данной области знаний. Адаптивный процесс обучения требует планирования учебных воздействий на основе сочетания разнородных предметных знаний, имеющихся компетенций и индивидуальных характеристик. Представлено описание нечеткой модели анализа уровня знаний субъекта обучения, позволяющей определить наличие и степень сформированности необходимых профессиональных компетенций. Использование методов нечеткого моделирования позволяет учитывать естественные процессы, связанные с потерей некоторой части знаний в течение длительного промежутка времени, и создавать корректную прогнозную модель остаточных знаний в долговременной памяти. Рассмотрены возможности нечеткого моделирования при поддержке принятия решений по формированию индивидуальных траекторий обучения.

Нечеткие модели; интеллектуальные обучающие системы; оценка компетентности; системы управления знаниями; поддержка принятия решений.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 14-07-00841).