

12. *Emelichev V.A.* Diskretnaya optimizatsiya. Posledovatel'nye skhemy resheniya. II [Discrete optimization. Sequential schemes of solution. II], *Kibernetika* [Cybernetics], 1972, No. 2, pp. 109-121.
13. *Himsolt M.* GraphEd: a graphical platform for the implementation of graph algorithms, *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1994, Vol. 894, pp. 182-193.
14. *Sugiyama K., Missue K.* A generic compound graph visualizer/manipulator: D-ABSTRUCTOR, *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1995, Vol. 1027, pp. 500-503.
15. *Gasner E.R., North S.C., Vo K.P.* DAG – a program that draws directed graph, *Software – Practice and Experience*, 1998, Vol. 18, No. 1, pp. 1047-1062.
16. *Kristofides N.* Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod [Graph theory. Algorithmic approach]. Moscow: Mir, 1978, 432 p.
17. *Tselykh A.A.* Grafogipergrafovaya model' sementicheskoy sotsial'noy seti [Graph-hypergraph model of a semantic social network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 4 (129), pp. 225-229.
18. *Sergeev N.E., Tselykh Yu.A.* GH-modeli sotsial'nykh setey [GH-models of social networks] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 1 (90), pp. 90-95.
19. *Tselykh A.N., Kotov E.M., Tselykh A.A.* Metod informatsionnogo poiska na osnove nechetkogo skhodstva situatsiy [Method of information retrieval based on a fuzzy similarity of situations], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 6 (155), pp. 74-78.
20. *Tselykh A.A.* Metod raspoznavaniya izomorfno go vlozheniya nechetkikh grafov na osnove nechetkogo mnozhestva klik [Recognition method investments isomorphic fuzzy graphs, based on fuzzy sets click], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 4 (81), pp. 129-132.
21. *Sergeev N.E., Tselykh A.A., Tselykh A.N.* Generalized approach to modeling user activity graphs for network security and public safety monitoring, *SIN 2013 – Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks, 2013*, pp. 117-122.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Сергеев Николай Евгеньевич – Южный федеральный университет; e-mail: nesergeev@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371656; д.т.н., профессор.

Мунтян Евгения Ростиславна – e-mail: ermuntyan@sfedu.ru; тел.: 88634371550; старший преподаватель.

Sergeev Nikolai Evgenievich – Southern Federal University; e-mail: nesergeev@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; dr. of eng. sc.; professor.

Muntyan Evgenia Rostislavna – e-mail: ermuntyan@sfedu.ru; phone: +78634371550; senior lecturer.

УДК 681.3

Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, А.А. Долматов

СПОСОБ ПЕРЕНОСА ДАННЫХ МЕЖДУ КОНТЕКСТНО СВЯЗАННЫМИ ЗАДАЧАМИ НА ОСНОВЕ PSO-МЕТОДА*

Во многих случаях получение априорно определенных обучающих данных затруднительно или вообще невозможно. В этой связи перспективным представляется адаптивный перенос имеющихся знаний (transfer learning) из доступных моделей, контекстно связанных областей, в проектируемую систему. В работе рассматривается способ переноса нечетких данных из исходной задачи в целевую. Под исходной понимается задача с большим количеством известных

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-05129).

(формализованных) составляющих таких, как целевая функция, система ограничений, входные данные и т.д. Целевой является задача с трудно формализуемыми параметрами. Подразумевается, что фрагменты исходной и целевой задачи находятся в некоторой контекстной взаимосвязи. Например, исходная задача может состоять в проектировании интегральной схемы на кристалле заданного размера. При несущественном изменении геометрии кристалла, возникает контекстно связанная задача доводки спроектированного изделия. Использование знаний об исходной задаче при решении целевой, будет способствовать сокращению времени поиска. Известно, что для одних и тех же оптимизационных задач в одних случаях необходимо получать точные решения, а в других достаточно получения приближенных решений. Под приближенным решением можно понимать некоторую область точек, каждая из которых описывает некоторые свойства исследуемого объекта (процесса), и может быть решением задачи, в некоторой трудно формализуемой ситуации. Поэтому, целесообразно рассматривать процедуры нечеткого переноса информации из одной предметной области в другую. В работе показано, что для случая, если область определения носит нечеткий характер, процедура функционирования алгоритма должна быть модифицирована, например, за счет выполнения известных операций над нечеткими числами с треугольным представлением. На практике перенос нечетких переменных может носить нелинейный, трудно формализуемый характер. По этой причине актуальной становится проблема поиска наиболее адекватного переноса данных одной целевой задачи в другую. В качестве примера переносимых параметров задачи приведены функции принадлежности нечетких чисел. Преимуществом предложенного подхода, по сравнению с подходом Shell J. и Coupland S., является независимость процесса конвертации от наличия знаний о размерах областей определений исходной и целевой задач. Недостатком является его зависимость от определенности функции F , описывающей адекватность переноса нечеткой переменной из одного контекста в другой.

Нечеткие системы; адаптация; интеллектуальные методы; контекст.

Yu.O. Chernyshev, N.N. Ventsov, A.A. Dolmatov

MODE OF TRANSFERRING DATA BETWEEN THE CONTEXT RELATED TASKS BASED ON PSO METHOD

In many cases it is difficult or impossible to obtain a priori certain training data. In this respect promising is the adaptive transfer of knowledge (transfer of learning) of the available models, context-bound areas in the projected system. This paper describes the method of fuzzy data transfer from the source task to the target. The source refers to the task with a large number of well-known (formalized) components such as objective function, system constraints, input data, etc. Target is the task with hard-formalizable parameters. It is meant that the portions of the source and target are in a context relationship. For example, the source task may consist in designing the integrated circuit on a chip of a given size. With minor geometry changes of the crystal, there is a context related problem of finishing the engineered products. The use of knowledge about the original problem while solving the task, will contribute to reducing search time. It is known that for the same optimization problems in some cases it is necessary to obtain accurate solutions, while in others it is enough to obtain approximate solutions. Under the approximate solution meant is a certain area of points, each of which describes some properties of the investigated object (process) and could be a solution to the problem, to some it is difficult to formalize the situation. It is therefore advisable to consider the procedure of the fuzzy transfer information from one subject area to another. It is shown that if the scope is vague, the procedure for the functioning of the algorithm must be modified, for example, by performing known operations on fuzzy numbers with triangular view. In practice, the transfer of fuzzy variables can be worn non-linear, it is difficult to formalize the nature. For this reason, the actual becomes the problem of finding the most appropriate transfer data from one target to another. As an example, the migrated task parameters given are the membership functions of fuzzy numbers. The advantage of the proposed approach compared to the approach J. Shell and S. Coupland, is the independence of the process of conversion from knowledge of the size of the fields definitions of the source and target tasks. The disadvantage is its dependence on the certainty of the function F describing the adequacy of the fuzzy variable transfer from one context to another.

Fuzzy systems; adaptation; intelligent techniques; context.

Введение. Сложность задач, решаемых современными интеллектуальными системами, требует наличия актуальных и репрезентативных начальных данных. Для экспертных систем – это обучающие выборки, для эволюционных алгоритмов – начальные решения, для систем логического вывода – аксиомы и т.д. В большинстве случаев такие данные должны быть получены из целевой предметной области. В некоторых ситуациях получение априорно определенных обучающих данных затруднительно или вообще невозможно. Например, для систем, функционирующих в зонах бедствий, или обслуживающих небольшие группы пользователей, которые имеют очень специфические требования (например, по причине ограниченных возможностей). В этой связи перспективным представляется адаптивный перенос имеющихся знаний (transfer learning) из доступных моделей, контекстно связанных областей, в проектируемую систему. Известно, что для одних и тех же проектных процедур в одних случаях необходимо получать точные решения, а в других достаточно получения приближенных решений [1]. Под приближенным решением можно понимать некоторую область точек, каждая из которых описывает некоторые свойства исследуемого объекта (процесса), и может быть решением задачи, в некоторой трудно формализуемой ситуации. Поэтому, целесообразно рассматривать процедуры нечеткого переноса информации из одной предметной области в другую.

Например, исходная задача может состоять в проектировании интегральной схемы на кристалле заданного размера. При несущественном изменении геометрии кристалла, возникает контекстно связанная задача доводки спроектированного изделия. Использование знаний об исходной задаче при решении целевой, будет способствовать сокращению времени поиска.

Постановка задачи. В ситуациях, когда необходим адаптивный перенос информации, актуальным становится понятие контекста. В работе А. Дев [2] дается определение контекста объекта: «Контекст – любая информация, которая может использоваться, чтобы характеризовать ситуацию объекта. Объект – человек, место, предмет, который относится к взаимодействию между пользователем и приложением, включая пользователя и сами приложения». Зачастую контекст определяют как [3, 4]:

- ◆ информация – каждый контекст состоит из определенных переменных, которые релевантны и измеримы;
- ◆ поведение – контекст воплощает объект, приложение, службу или группу, которые зависят от поведения соответствующей информации;
- ◆ вариация – различия в структуре переменных могут происходить между контекстами, но не между экземплярами в самом контексте, что будет определяться как новый контекст.

В работе [5] переобучение (Transfer Learning – TL) и нечеткая логика (Fuzzy Logic – FL) объединяются в концепцию нечеткого переобучения (Fuzzy Transfer Learning – FuzzyTL) для решения проблемы обучающих задач, у которых изначально нет точного контекстного знания. Благодаря использованию метода, основанного на FL-обучении, неопределенность, которая проявляется в динамических средах, может быть определенным образом описана или оценена. При применении TL-подхода, объединяются определенные данные от контекстуально связанной исходной задачи и минимальные неопределенные данные от целевой задачи. Цель переобучения – улучшение процесса обучения за счет получения информации из контекстно связанных областей. Особенностью данного подхода является возможность передачи информации из одного контекста в другой. На рис. 1, 2 приведены примеры одного из этапов адаптации функций принадлежности мно-

жеств, основанных на оценке изменения новых минимальных и максимальных значений области определения [5]. На рис. 1, 2 по оси абсцисс расположены области определения функций принадлежности, а по оси ординат – значения функций принадлежности.

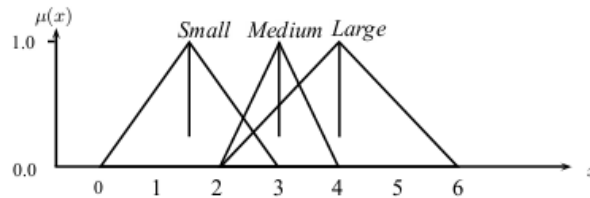


Рис. 1. Пример исходных функций принадлежности множеств

На рис. 1 и 2 изображены нечеткие числа с треугольным представлением. Такие нечеткие числа можно охарактеризовать тремя точками. Например, на рис. 1 переменная Medium характеризуется кортежем из трех чисел $\langle 2;3;4 \rangle$, первый и третий элементы кортежа описывают числа, для которых функция принадлежности равна нулю, а второй элемент - единице. На рис.2 приведена адаптированная под новую задачу переменная Medium, характеризующаяся кортежем $\langle 3;4;5;6 \rangle$. На практике перенос нечетких переменных может носить нелинейный, трудно формализуемый характер. По этой причине актуальной становится проблема поиска наиболее адекватного переноса данных одной целевой задачи в другую.

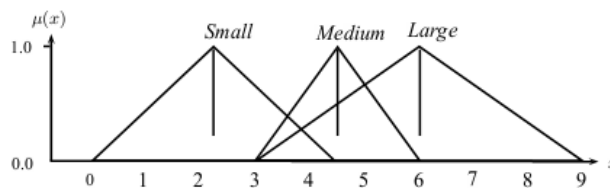


Рис. 2. Пример адаптированных функций принадлежности множеств

При таком подходе перенос знаний возможен только при известных границах областей определений как исходной (решенной ранее), так и целевой (решаемой в данный момент) задачи. Кроме того, модификация функций принадлежности переменных осуществляется пропорционально изменению расстояний между границами областей определения. Это позволяет осуществлять только однотипные преобразования.

Известно, что одним из важнейших этапов поиска решений является построение подмножества альтернатив [6–8], описывающих, например, критерии оценки полученных решений. В случае, если формирование потенциально целесообразных альтернатив осуществляется экспертом, необходимо обеспечить быстрое преобразование предположений эксперта в параметры задачи оптимизации. Диалог эксперт – ЭВМ наиболее эффективен, если он происходит в режиме реального времени [9]. В качестве аппарата для моделирования человеческих рассуждений и объяснения приёмов принятия решений в настоящее время активно используются методы нечёткой логики [10–19].

Таким образом, необходимо разрабатывать методы конвертирования знаний из одной области в другую, независимые от наличия знаний о границах областей решаемых задач.

Постановка задачи. Если рассматривать нечеткое множество, заданное функцией принадлежности как фрагмент предметной области исходной задачи, то контекстный перенос данного множества в целевую задачу необходимо осуществлять без привязки к границам областей определения задач. В подобных ситуациях актуальной становится проблема поиска решений в нечетких пространствах.

Тогда поиск будет заключаться в определении кортежа $newX$, для которого:

$$F[oldX, newX] \rightarrow max, \quad (1)$$

где $oldX$ – кортеж, описывающий нечеткую переменную в исходной задаче, $newX$ – кортеж, описывающий нечеткую переменную в целевой задаче, $F[oldX, newX]$ – функция, описывающая степень адекватности преобразования переменной $oldX$ в $newX$.

Значения функции $F[oldX, newX]$ могут быть частично определены, поэтому использование классических методов оптимизации не всегда целесообразно.

Классические биоинспирированные методы поиска решений оперируют, как правило, с четкими решениями. Например, известный метод «оптимизации с использованием роя частиц» (*Particle Swarm Optimization, PSO*) базируется на понятии популяции и моделирует поведение птиц в стае и косяков рыб. Стратегия поведения особей (частиц) в популяции (рое) состоит в стремлении превзойти достижения соседних частиц и улучшить собственные. Перемещения частиц внутри области поиска обуславливаются их природным стремлением конкурировать между собой. Выбор траектории движения осуществляется частицей на основе личного опыта, а также опыта её соседей [20–21].

Если решение оптимизационной задачи состоит в нахождении точки оптимума в N -мерном пространстве решений, то можно предположить, что частица движется в N -мерном пространстве и её координаты можно описать вектором (кортежем) $X = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle$.

Процесс поиска решений данным методом начинается с генерации частиц. Начальное состояние частицы i , в нулевой момент времени, описывается кортежем $X_i(0) = \langle x_{i,1}(0), x_{i,2}(0), x_{i,3}(0) \rangle$.

Позиция i -ой частицы в пространстве поиска решений изменяется добавлением скорости $V_i(t) = \langle v_{i,1}(t), v_{i,2}(t), v_{i,3}(t) \rangle$ к текущей позиции:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1). \quad (2)$$

С помощью кортежа $X_i(t) = \langle x_{i,1}(t), x_{i,2}(t), x_{i,3}(t) \rangle$ обозначим позицию i -ой частицы в пространстве поиска решений в момент времени t .

Предлагаемый подход. В случае, если область определения носит нечеткий характер, процедура функционирования алгоритма должна быть модифицирована, например, за счет выполнения известных операций над нечеткими числами с трехчленным представлением.

Нечеткое число \tilde{A} может быть выражено как [6]:

$$\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(x)/x, \quad (3)$$

где $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ – степень принадлежности $x \in R$ множеству \tilde{A} ; \int – объединение по всем $x \in R$; $\mu_{\tilde{A}}(x)/x$ означает, что степень принадлежности x множеству \tilde{A} равна $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

Функция принадлежности к нечеткому числу имеет две границы: верхнюю и нижнюю, поэтому нормальное выпуклое нечеткое число можно записать в виде [6]:

$$\tilde{A} = \int_a^A \mu_{a\tilde{A}}(x)/x + \int_A^b \mu_{b\tilde{A}}(x)/x, \quad (4)$$

где a, b – нижняя и верхняя границы функции принадлежности; $\mu_{a\tilde{A}}(x)$ – функция принадлежности на участке $[a;A]$; $\mu_{b\tilde{A}}(x)$ – функция принадлежности на участке $[A;b]$.

Позицию i -ой частицы в пространстве поиска решений в момент времени t , обозначим:

$$\tilde{A}_i(t) = \langle \tilde{A}_{i,1}(t), \tilde{A}_{i,2}(t), \dots, \tilde{A}_{i,j}(t), \dots, \tilde{A}_{i,N}(t) \rangle, \quad (5)$$

где N – количество лингвистических переменных, функции принадлежности которых необходимо конвертировать из исходной задачи в целевую.

В формуле (5) частица $\tilde{A}_i(t)$ содержит множество нечетких чисел, каждое из которых соответствует некоторой лингвистической переменной. Таким образом, для случая одновременного преобразования N нечетких переменных формула (1), примет вид:

$$F[\text{old}\tilde{A}(t), \text{new}\tilde{A}(t)] \rightarrow \max,$$

где $\text{old}\tilde{A}(t)$ – кортеж, описывающий множество из N нечетких переменных в исходной задаче; $\text{new}\tilde{A}(t)$ – кортеж, описывающий множество из N нечетких переменных в целевой задаче; $F[\text{old}\tilde{A}(t), \text{new}\tilde{A}(t)]$ – функция, описывающая адекватность преобразования переменных из множества $\text{old}\tilde{A}(t)$ в множество $\text{new}\tilde{A}(t)$.

По аналогии с формулой (5) и учитывая формулу (2), позиция i -ой частицы в пространстве поиска решений будет изменяться добавлением к текущей позиции скорости:

$$\tilde{B}_i(t) = \langle \tilde{B}_{i,1}(t), \tilde{B}_{i,2}(t), \dots, \tilde{B}_{i,j}(t), \dots, \tilde{B}_{i,N}(t) \rangle. \quad (6)$$

В соответствии с формулами (5) и (6) формула (2) примет вид:

$$\tilde{A}_i(t+1) = \tilde{A}_i(t) + \tilde{B}_i(t+1). \quad (7)$$

Формула (7) подразумевает поэлементное сложение двух кортежей $\tilde{A}_i(t)$ и $\tilde{B}_i(t+1)$. В приведенной ниже формуле, для упрощения восприятия, элемент $\tilde{A}_{i,j}(t)$ кортежа $\tilde{A}_i(t)$ обозначим \tilde{A} , а элемент $\tilde{B}_{i,2}(t)$ кортежа $\tilde{B}_i(t)$ обозначим как \tilde{B} . Так как по своей сути \tilde{A} и \tilde{B} нечеткие числа, описывающие j -ие элементы кортежей $\tilde{A}_i(t)$ и $\tilde{B}_i(t)$, их сумму можно определить как [6]:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = \left(\int_a^A \mu_{a\tilde{A}}(x)/x + \int_A^b \mu_{b\tilde{A}}(x)/x \right) + \left(\int_{a'}^B \mu_{a\tilde{B}}(x)/x + \int_B^{b'} \mu_{b\tilde{B}}(x)/x \right),$$

где a, b, a', b' – границы слагаемых нечетких чисел.

Значения C , a'', b'' , характеризующие нечеткое число \tilde{C} , определяются равенствами: $C = A + B$, $a'' = a + a'$; $b'' = b + b'$. Тогда:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = \tilde{C} = \left(\int_{a''}^C \mu_{a\tilde{C}}(x)/x + \int_C^{b''} \mu_{b\tilde{C}}(x)/x \right).$$

Нечеткое число \tilde{C} является j -ым элементом кортежа $\tilde{A}_i(t+1)$. Так как C определяется суммой A и B , нечеткое число, полученное в результате арифметической операции, можно определить, не проводя лингвистического анализа, так как известно при каком значении x функция принадлежности равна единице.

Заключение. Разработан способ переноса нечетких функций принадлежности из одной контекстно связанной задачи в другую. Преимуществом предложенного подхода, по сравнению с подходом Shell J. и Coupland S., является независимость процесса конвертации от наличия знаний о размерах областей определений исходной и целевой задач. Недостатком предложенного подхода является его зависимость от определенности функции F .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвиненко В.А. Адаптивные алгоритмы проектных операций САПР ЭВА // IS-IT'14: Тр. Междунар. конгр. по интеллект. системам и информ. технологиям, п. Дивноморское, 2-9 сент. ЮФУ. – М.: Физматлит, 2014. – Т. 1. – С. 113-119.

2. Dey A. Understanding and Using Context // *Personal and ubiquitous computing*. – 2001. – No. 5. – P. 4-7.
3. Dourish P. What we talk about when we talk about context // *Personal Ubiquitous Comput.* – 2004. – No. 8. – P. 19-30.
4. Bettini C., Brdiczka O., Henricksen K., Indulska J., Nicklas D., Ranganathan A., Riboni D. A survey of context modelling and reasoning techniques // *Pervasive and Mobile Computing*. – 2010. – No. 6. – P. 161-180.
5. Shell J, Coupland S. Fuzzy Transfer Learning: Methodology and Application // Preprint submitted to *Information Sciences* May 23, 2014. – 27 p.
6. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
7. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Чернышев Ю.О. Основные задачи синтеза топологии СБИС: монография. – Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 2006. – 92 с.
8. Глушань В.М., Лаврик П.В. Распределенные САПР. Архитектура и возможности. – Старый Оскол: ТНТ, 2104. – 188 с.
9. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечеткой логики // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2014. – № 1 (150). – С. 83-92.
10. Zade L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338.
11. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 7 (132). – С. 92-98.
12. Берштейн Л.С., Боженик А.В. Анализ использования оператора импликации в нечетком правиле вывода по аналогии // *Известия ТРТУ*. – 2004. – № 3 (38). – С. 5-10.
13. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженик А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
14. 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.
15. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Мухтаров С.А. Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки улучшения промежуточных решений оптимизационных задач // *Вестник ДГТУ*. – 2012. – № 5 (56). – С. 68-76.
16. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит. 1986. – 321 с.
17. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
18. 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.
19. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
20. Engelbrecht A. *Computational intelligence: an introduction* – John Wiley and Sons Ltd., 2007. – 597 p.
21. Венцов Н.Н. Эволюционный подход к моделированию распределительных процессов // *Инженерный вестник Дона*. – 2013. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1886>. – Загл. с экрана.

REFERENCES

1. Litvinenko V.A. Adaptivnye algoritmy proektnykh operatsiy SAPR EVA [Adaptive algorithms project operations CAD EVA], *IS-IT 14: Tr. Mezhdunar. kongr. po intellekt. sistemam i inform. tekhnologiyam, p. Divnomorskoe, 2-9 sent. YuFU* [IS-IT 14: proceedings of the International. Congress on intelligent systems and technology information, Divnomorskoe, 2-9 September]. Moscow: Fizmatlit, 2014, Vol. 1, pp. 113-119.
2. Dey A. Understanding and Using Context, *Personal and ubiquitous computing*, 2001, No. 5, pp. 4-7.
3. Dourish P. What we talk about when we talk about context, *Personal Ubiquitous Comput.*, 2004, No. 8, pp. 19-30.
4. Bettini C., Brdiczka O., Henricksen K., Indulska J., Nicklas D., Ranganathan A., Riboni D. A survey of context modelling and reasoning techniques, *Pervasive and Mobile Computing*, 2010, No. 6, pp. 161-180.

5. *Shell J, Coupland S. Fuzzy Transfer Learning: Methodology and Application, Preprint submitted to Information Sciences May 23, 2014, 27 p.*
6. *Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol'zovaniya [Decision making based on fuzzy models: Examples of use]. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.*
7. *Lebedev B.K., Lebedev O.B., Chernyshev Yu.O. Osnovnye zadachi sinteza topologii SBIS: Monografiya [The main tasks of the synthesis VLSI layout: Monograph]. Rostov-on-Don: RGASKhM, 2006, 92 p.*
8. *Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol'zovaniya [Decision making based on fuzzy models: Examples of use]. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.*
9. *Polkovnikova N.A., Kureychik V.M. Razrabotka modeli ekspertnoy sistemy na osnove nechetkoy logiki [Development of an expert system model based on fuzzy logic], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 1 (150), pp. 83-92.*
10. *Zade L.A. Fuzzy sets, Information and Control, 1965, Vol. 8, pp. 338.*
11. *Kureychik V.M. Osobennosti postroeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Features of decision making support system design], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 92-98.*
12. *Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V. Analiz ispol'zovaniya operatora implikatsii v nechetkom pravile vyvoda po analogii [Analysis of the use of the implication operator in fuzzy rule of inference by analogy], Izvestiya TRTU [Izvestiya TSURE], 2004, No. 3 (38), pp. 5-10.*
13. *Malyshev N.G., Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V. Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR [Fuzzy models for expert systems in CAD]. Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.*
14. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A. K voprosu ob intellektual'noy podderzhke protsessa dovodki SBIS [To the question of intellectual support of process of finishing VLSI], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 63-69.*
15. *Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A. Razrabotka algoritma intellektual'noy podderzhki uluchsheniya promezhutochnykh resheniy optimizatsionnykh zadach [Development of the algorithm of intellectual support improve intermediate solutions of optimization problems], Vestnik DGTU [Vestnik of DSTU], 2012, No. 5 (56), pp. 68-76.*
16. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in management models and artificial intelligence], ed. by D.A. Pospelova. Moscow: Nauka. Gl. red. Fiz.-mat. lit. 1986, 321 p.*
17. *Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. Moscow: Mir, 1976, 165 p.*
18. *Prikladnye nechetkie sistemy [Applied fuzzy systems]: translated from Japanese by K. Asai, D. Watada, S. Iwai and others, ed. by T. Terano, K. Asai, M. Sugeno. Moscow: Mir, 1993, 386 p.*
19. *Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]: translation from French. Moscow: Radio i svyaz', 1982, 432 p.*
20. *Engelbrecht A. Computational intelligence: an introduction – John Wiley and Sons Ltd., 2007, 597 p.*
21. *Ventsov N.N. Evolyutsionnyy podkhod k modelirovaniyu raspredelitel'nykh protsessov [An evolutionary approach to modelling the distribution processes], Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 2013. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1886>.*

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

Чернышев Юрий Олегович – Донской государственный технический университет; e-mail: muvnnp@list.ru; г. Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина, 1; тел.: 88632738510; кафедра автоматизации производственных процессов; д.т.н.; профессор.

Венцов Николай Николаевич – e-mail: vencov@list.ru; тел.: 88632738582; кафедра информационных технологий; к.т.н.; доцент.

Долматов Андрей Анатольевич – ООО "СКФ Менеджмент Сервисиз (Новороссийск); e-mail: daa50@mail.ru; Краснодарский край, Новороссийск, ул. Свободы, 1; тел.: 89054777623; Старший помощник капитана.

Chernyshev Yury Olegovich – Don State Technical University; e-mail: myvnn@list.ru; Rostov-on-Don, Russia, Gagarin square, 1, Russia; phone: +78632738510; the department of automation of productions; dr. of eng. sc.; professor.

Ventsov Nikolay Nikolaevich – e-mail: vencov@list.ru; phone: +78632738582; the department of information technologies; cand. of eng. sc.; associate professor.

Dolmatov Andrey Anatolevich – SCF Management Services (Novorossiysk) Ltd; e-mail: daa50@mail.ru; Krasnodar region, Novorossiysk, 1, Svobody street, Russia; phone: +79054777623; Chief Officer.

УДК 581.5:681.3

В.В. Игнатьев, А.А. Пушнина, И.В. Пушнина, О.Б. Спиридонов, В.И. Финаев

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА В КОТЕЛ

Цель данной работы состоит в исследовании и формализации работы котельного оборудования в условии неполноты исходных данных для разработки модели нечеткого регулятора для управления подачей газа в котел на примере работы водогрейного котла типа КВ-ГМ при обеспечении стабильного значения температуры подогретой воды на выходе котла. Для достижения поставленной цели рассмотрена классификация промышленных котлов. Выполнен аналитический обзор известных работ, в которых рассматривалось решение похожих задач. Анализ показал, актуальным направлением развития систем управления котлоагрегатами является применение методов искусственного интеллекта, но задаче управления расходом газа в водогрейных котлах уделено ещё недостаточное внимание. Рассмотрено устройство и принцип работы котла типа КВ-ГМ, физическая модель котлоагрегата, позволяющая из уравнения теплового баланса определять пределы требуемого расхода газа, воздуха и рассчитывать коэффициент полезного действия. При задании выходной переменной в виде нечеткого интервала, определяется нечеткий интервал расхода газа и определено идеальное соотношение расхода газа к количеству воздуха. При разработке нечеткого регулятора определены лингвистические переменные «ошибка управления», «скорость изменения ошибки», «угол поворота исполнительного органа», параметры базовых множеств и построены функции принадлежности нечетких переменных. Экспертами заданы правила принятия решений. Разработана структурная схема нечеткого регулятора в FIS-редакторе MATLAB, структурная схема системы управления в Simulink и выполнено моделирование в статистическом режиме котла, при подаче скачкообразного управляющего воздействия и при наличии возмущений. Применение нечеткого регулятора обеспечивает устойчивость управления, в отличие от применения систем управления, построенных на методах классической теории автоматического управления.

Газовый котел; подогрев воды; управление; неопределённость; принятие решений; моделирование; алгоритмизация; имитация.

V.V. Ignatyev, A.A. Pushnina, I.V. Pushnina, O.B. Spiridonov, V.I. Finaev

DEVELOPMENT OF FUZZY CONTROLLER FOR FUEL SUPPLYING CONTROL IN BOILER

The purpose of this paper is to analyze and formalize the operation of the water boiler plant in the condition of the initial data incompleteness for development of a fuzzy controller model to control the gas supply to the boiler type KV-GM to maintain a stable water temperature at the boiler output.