

Исследование качества настройки нечеткой экспертной системы при проведении профессионального психофизиологического отбора

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Исследовано влияние методов дефаззификации на качество настройки нечеткой экспертной системы, что имеет важное значение для определения профессиональной психофизиологической пригодности, особенно при выполнении опасных видов работ.

Ключевые слова: дефаззификация, функция принадлежности, настройка нечеткой экспертной системы, метод центра тяжести.

Стремление специалистов сделать профессиональный психофизиологический отбор высокопроизводительным, качественным и с минимальным показателем субъективизма приводит к необходимости применения компьютерных технологий, основанных на использовании различного математического аппарата. В современных условиях наиболее перспективным является применение нечетких экспертных систем. Основной задачей работы является исследование влияния методов дефаззификации на показатели качества настройки нечеткой экспертной системы.

Поскольку качество настройки нечеткой экспертной системы зависит как от метода настройки, так и от операции дефаззификации, то представляет интерес выбор такого метода, который обеспечил бы наилучшие показатели времени и точности процедуры настройки. Операция дефаззификации - это преобразование нечеткого множества в четкое число. Она является необходимым этапом идентификации нелинейных зависимостей посредством настройки (обучения) баз знаний нечетких экспертных систем [1]. Наиболее простым способом выполнения этой операции является выбор четкого числа, соответствующего максимуму функции принадлежности. Однако пригодность этого способа ограничивается лишь одноэкстремальными функциями принадлежности. Обычно теория нечетких множеств операцию дефаззификации предлагает выполнять методами центра тяжести, медианы и центра максимумов. В данной работе приводится сравнительный анализ времени и точности настройки нечеткой экспертной системы в зависимости от методов дефаззификации.

В настоящей работе предлагается моделирование профессиональной пригодности описать с помощью нечеткой базы знаний в виде лингвистических высказываний «ЕСЛИ-ТО» и лингвистических переменных. Этим высказываниям соответствуют логические уравнения, связывающие функции принадлежности $\mu(x_i)$ всех входных переменных психофизиологического состояния здоровья и функций принадлежности профессиональной пригодности $\mu^g(g)$ выходных переменных. Фрагмент системы нечетких логических уравнений для базы знаний, представленной в работе [2], имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \mu^g_1(x_i) = & [\mu^{\Pi}(x_1) \wedge \mu^{\Pi}(x_2) \wedge \mu^{\Pi}(x_3) \wedge \mu^{\Pi}(x_4) \wedge \mu^{\Pi}(x_5) \wedge \mu^{\Pi}(x_6) \wedge \mu^{\Pi}(x_7) \dots \wedge \mu^{\Pi}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{\Pi}(x_1) \wedge \mu^{\Pi}(x_2) \wedge \mu^{\Pi}(x_3) \wedge \mu^{\Pi}(x_4) \wedge \mu^{\Pi}(x_5) \wedge \mu^{\Pi}(x_6) \wedge \mu^{\Pi}(x_7) \dots \wedge \mu^{o\Pi}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{\Pi}(x_1) \wedge \mu^{\Pi}(x_2) \wedge \mu^{\Pi}(x_3) \wedge \mu^{\Pi}(x_4) \wedge \mu^{\Pi}(x_5) \wedge \mu^{\Pi}(x_6) \wedge \mu^{o\Pi}(x_7) \dots \wedge \mu^{\Pi}(x_{16})] \vee \\ & \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & [\mu^{\text{оП}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \wedge \mu^{\text{П}}(x_i) \dots \wedge \mu^{\text{П}}(x_{1i})], \\
 \mu^{g_2}(x_i) = & [\mu^{\text{оП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{16}) \vee \\
 & [\mu^{\text{оП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16}) \vee \\
 & [\mu^{\text{оП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & \dots \\
 & [\mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i}) \dots \wedge \mu^{\text{оП}}(x_{1i})], \\
 (1) \\
 \mu^{g_3}(x_{1i}) = & [\mu^{\text{МП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^{\text{оП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^{\text{оП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{оП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & \dots \\
 & [\mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i}) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{1i})], \\
 \mu^{g_4}(x_{ki}) = & [\mu^{\text{нП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^{\text{нП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^{\text{нП}}(x_1) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_2) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_3) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_4) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_5) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_6) \wedge \mu^{\text{МП}}(x_7) \dots \wedge \mu^{\text{МП}}(x_{16})] \vee \\
 & \dots \\
 & [\mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki}) \dots \wedge \mu^{\text{нП}}(x_{ki})],
 \end{aligned}$$

где $\mu^{\text{П}}$ – функция принадлежности профессиональной пригодности претендента; $\mu^{\text{оП}}$ – функция принадлежности относительной профессиональной пригодности; $\mu^{\text{МП}}$ – функция принадлежности малой профессиональной пригодности; $\mu^{\text{нП}}$ – функция принадлежности непригодности. Тогда в соответствии с работой [3] степень принадлежности конкретного входного параметра $X^* \equiv \{x^*_1, x^*_1, \dots, x^*_1\}$ нечетким термам g_j ($j = \overline{1, m}$) профессиональной пригодности определяется следующей системой нечетких логических уравнений:

$$\mu^{g_j}(X^*) = \max_{p=1, k_j} \left\{ \mu^{g_j}(x_i) \min \left[\mu^{g_j}(x^*_i) \right] \right\}, j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Используя логические операции над нечеткими множествами, получим нечеткое множество, соответствующее входному вектору X^* :

$$\tilde{g} = \bigcup_{j=1, m} \int_{g}^{\tilde{g}} \min(\mu^{g_j}(X^*), \mu^{g_j}(g_i)) / g_i. \quad (3)$$

Для определения четкого числа g , которое соответствует вектору X^* , применим операцию дефаззификации:

$$g = \text{defuz}(\tilde{g}). \quad (4)$$

В работе [1] для формализации термов, входящих в нечеткую базу знаний, использовалась функция принадлежности вида

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \quad (5)$$

где x – переменная, принадлежащая нечеткому терму T ; b и c – параметры настройки. Учитывая формулы (2) – (5), запишем нечеткую модель, соответствующую базе знаний (1):

$$g = F(X, A, B, C), \quad (6)$$

где F – оператор связи вход – выход; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – входной вектор; $A = (a_1, a_2, \dots, a_r)$ – вектор весов правил в нечеткой базе знаний (1); $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$ и $C = (c_1, c_2, \dots, c_k)$ – векторы параметров настройки функций принадлежности нечетких термов (5), которыми оцениваются входы и выходы нечеткой модели.

Для оценки качества настройки нечеткой экспертной системы [5] необходимо определить время, в течение которого модель достигает определенного значения задаваемой ошибки ε при обучении ее одним из методов настройки и дефаззификации. Пусть обучающая выборка задана в виде N пар экспериментальных данных о профессиональной пригодности работающих на конкретном предприятии сотрудников:

$$\{X_p, g_p\}, p = \overline{1, N}, \quad (7)$$

где $X = (x^p_1, x^p_2, \dots, x^p_n)$ – входной вектор в p – й паре, g_p – соответствующий выход.

Тогда задачу настройки нечеткой экспертной системы можно решить с помощью алгоритма «обратного распространения ошибки», который позволит минимизировать расхождение между модельными (6) и экспериментальными (7) выходами профессиональной пригодности претендента, а также определить такой вектор

(A, B, C), для которого точность настройки обеспечивается формулой вида

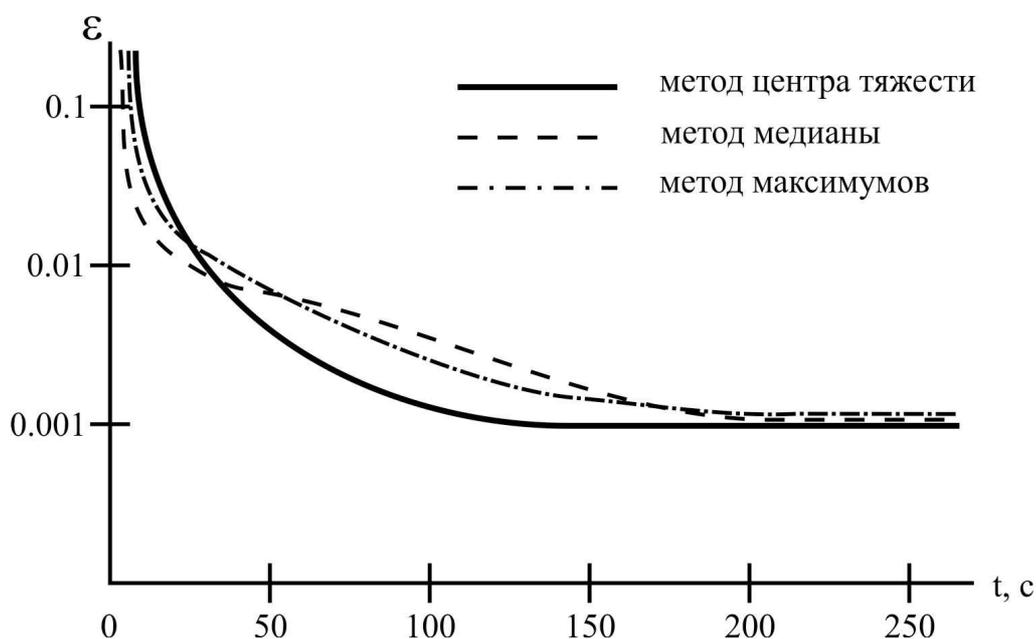
$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N [F(X_p, A, B, C) - g_p]^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для операции дефаззификации воспользуемся тремя самыми распространенными методами: центра тяжести, медианы и центра максимумов [3,4]. В настоящей работе на основании (5) функция принадлежности характеризуется одноэкстремальным значением, и выбор решения определен однозначно:

$$\mu^{g_i}(x_i) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad \text{для } g \in \underline{g} + j\Delta \\ 0 \quad \text{в остальных случаях} \end{array} \right\}, \quad (9)$$

$$\text{где } \Delta = \frac{\bar{g} - g}{n}.$$

В эксперименте использовались созданные в работах [1, 2, 3] нечеткие базы знаний и обучающие выборки, а также термы низкий, средний, выше среднего, высокий. Нечеткие термы из базы знаний настраивались для каждого из методов дефаззификации. При этом строились кривые обучения в виде зависимости задаваемой ошибки ε от времени обучения (t) экспертной системы. По окончании процесса настройки проводилось графическое сравнение полученных результатов дефаззификации по всем трем методам. Кривые зависимости ε от времени настройки нечеткой экспертной системы и методов дефаззификации приведены на рисунке.



Зависимость точности настройки нечеткой экспертной системы от времени и методов дефаззификации

В результате проведенных экспериментов в пакете MatLab установлено, что наилучшие показатели по времени и точности настройки нечеткой экспертной системы дает дефаззификация по методу центра тяжести.

Таким образом, применение «алгоритма обратного распространения» и метода центра тяжести приводит к улучшению показателей качества настройки нечеткой экспертной системы.

Список литературы

1. Кузнецова Н.В. Моделирование профессиональной психофизиологической пригодности лиц, занятых на работах с высоким уровнем техногенной опасности и повышенным риском / Н.В. Кузнецова, Н.В. Нечипорук // Экологічна безпека та природокористування: сб. науч. тр. Ін-та телекомунікацій і глобал. пробл. — Вып. 1. — К., 2008. — С. 140–150.

2. Кузнецова Н.В. Прогнозирование профессиональной психофизиологической пригодности на основе экспертно-лингвистических закономерностей, как один из инструментов решения современных экологических проблем / Н.В. Кузнецова, Н.В. Нечипорук // Сучасні технології управління екологічною й інформаційною безпекою територій : матеріали IV Міжнарод. науч. практ. - конф. – Х., Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 3–5 сент. 2005. – С. 34 – 36.

3. Кузнецова Н.В. Прогнозирование профессиональной пригодности специалиста: системный подход / Н.В. Кузнецова, В.Н. Кобрин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Вып. 20. – Х, 2003. – С. 04 – 208.

4. Кузнецова Н.В. Синтез и настройка баз нечетких знаний для моделирования профессиональной психофизиологической пригодности / Н.В. Кузнецова Н.В., Нечипорук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: зб. наук. пр. Нац. аэрокосм. ун-ту ім. М.Є. Жуковського «ХАИ». – № 3 (22). – Х., 2007. – С. 64 – 72.

5. Соколов Ю.Н. Компьютерный анализ и проектирование систем управления: учеб. пособие / Ю.Н. Соколов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2005. – 260 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 28.06.10.

Дослідження про якість настроювання нечіткої експертної системи при проведенні професійного психофізіологічного відбору

Досліджено вплив методів дефазифікації на якість настроювання нечіткої експертної системи, яке має важливе значення для визначення професійної психофізіологічної придатності, особливо при виконанні небезпечних видів робіт.

Ключові слова: дефазифікація, функція приналежності, настроювання нечіткої експертної системи, метод центру важкості.

The effect the quality setting of fuzzy expert system in place of professional psychophysiological selection

The effect on the quality of methods defuzzification configuration of fuzzy expert system, which is essential to determine the value of professional psychophysiological life, especially when performing hazardous works.

Keywords: defuzzification, membership function, tuning of fuzzy systems, center of gravity method.