
УДК 681.519

Л.Г. Раскин¹, О.В. Серая¹, Т.И. Каткова², В.А. Головко¹

¹ *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

² *Бердянский университет менеджмента и бизнеса, Бердянск*

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В задаче оценивания состояния объектов в условиях неопределенности традиционно используются нечеткие экспертные системы. Принципиальным и проблемным элементом технологии использования таких экспертных систем является процедура формирования функций принадлежности нечетких значений контролируемых параметров диапазонам значений, которые идентифицируют возможные состояния объекта. Предложена методика формального построения искомых функций принадлежности по результатам экспертного оценивания границ диапазонов возможных значений контролируемых параметров объектов.

Ключевые слова: *нечеткая экспертная система, функции принадлежности, технология построения функций принадлежности, экспертные данные.*

Введение

Нечеткие модели экспертных систем (ЭС) диагностики состояния объектов являются естественной альтернативой традиционным экспертным системам в ситуациях, когда исходная информация о контролируемых диагностических параметрах объектов бедна и поэтому не обеспечивает возможность корректного их описания в рамках стандартных теоретико-вероят-

ностных технологий с использованием соответствующих плотностей распределения [1, 2]. Близкая по смыслу проблема, возникающая при использовании ЭС, состоит в трудностях уверенной идентификации контролируемых параметров при формировании правил установления принадлежности каждого из параметров одному из различающих подмножеств множества возможных его значений (ввиду невозможности точного определения границ этих подмножеств).

В конкретной задаче диагностики финансового состояния фирмы интерес представляет решение второй проблемы. В этой задаче исходная информация – данные финансовой отчетности фирмы, крайние позиции отношения к которым можно определить так: либо доверять им безоговорочно (то есть считать их достоверными и точными), либо не доверять совсем (и тогда решение задачи диагностики традиционными технологиями ЭС невозможно). С другой стороны, границы диапазонов значений параметров для идентифицирующих состояний не могут быть определены точно из каких-либо априорных соображений и нуждаются в оценивании реализуемого, например, в терминах нечетких множеств. Поэтому целесообразность использования нечетких ЭС для диагностики состояния объектов является обоснованной ровно в той мере, в какой удастся получить адекватное описание структурно-образующих элементов ЭС – функций принадлежности значений контролируемых параметров подмножествам, идентифицирующим состояния объекта.

Постановка задачи. Пусть множество возможных состояний есть (H_1, H_2, \dots, H_m) , и с целью диагностики состояния объекта осуществляется измерение набора $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ его параметров. Для каждого параметра, например x_j , $j = 1, 2, \dots, n$, диапазон его значений A_j необходимо разбить на m поддиапазонов $(A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jm})$ так, чтобы

$$\bigcup_{k=1}^m A_{jk} = A_j, \quad A_{jk_1} \cap A_{jk_2} = \emptyset, \quad (1)$$

$$k_1 \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad k_2 \in \{1, 2, \dots, m\}.$$

Требуемое разбиение осуществляется путем совместной обработки результатов разбиения A_j на поддиапазоны группой экспертов. Запишем независимые результаты разбиения A_j , представленные Q экспертами, в виде матрицы

$$A_j = \begin{pmatrix} A_{j1}^{(1)} & A_{j2}^{(1)} & \dots & A_{jm}^{(1)} \\ A_{j1}^{(2)} & A_{j2}^{(2)} & \dots & A_{jm}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{j1}^{(q)} & A_{j2}^{(q)} & \dots & A_{jm}^{(q)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{j1}^{(Q)} & A_{j2}^{(Q)} & \dots & A_{jm}^{(Q)} \end{pmatrix}.$$

Здесь $A_{jk}^{(q)}$ – диапазон значений параметра x_j , соответствующий состоянию H_k , по результатам разбиения A_j q -м экспертом, $j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, m$, $q = 1, 2, \dots, Q$.

Поставим задачу совместной обработки полученных результатов с целью получения функций

принадлежности нечетких значений контролируемых параметров подмножествам возможных их значений, идентифицирующим состояния объекта H_1, H_2, \dots, H_m . Заметим, что аналогичная проблема возникает при построении функций принадлежности нечетких значений лингвистических переменных одному из лингвистических термов, на которые разбивается исходное множество возможных значений переменной [3].

Основные результаты

Для диапазона $A_{jk}^{(q)}$ установим левую и правую границы: $x_{jk \min}^{(q)}, x_{jk \max}^{(q)}$, то есть $A_{jk}^{(q)} = \{x_j : x_j \in [x_{jk \min}^{(q)}, x_{jk \max}^{(q)}]\}$. Понятно, что наборы $\{x_{jk \min}^{(q)}\}, \{x_{jk \max}^{(q)}\}, q = 1, 2, \dots, Q$, позволяют рассчитать совместные оценки левой и правой границ диапазонов A_{jk} . Следует отметить, что приведенное выше требование (1) к совокупности этих диапазонов является естественным только в случаях, когда вся исходная информация точна. На практике дело обстоит не так. Поэтому в качестве возможных оценок можно использовать выборочные средние значения и дисперсии значений границ диапазонов по формулам

$$\bar{x}_{jk \min} = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q x_{jk \min}^{(q)}, \quad y_{jk \min}^2 = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q \left(x_{jk \min}^{(q)} - \bar{x}_{jk \min} \right)^2,$$

$$\bar{x}_{jk \max} = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q x_{jk \max}^{(q)}, \quad y_{jk \max}^2 = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q \left(x_{jk \max}^{(q)} - \bar{x}_{jk \max} \right)^2.$$

Получаемые при этом границы уже не удовлетворяют (1). Кроме того, навязываемые таким разбиением прямоугольные функции принадлежности не вполне соответствуют привычному представлению о плавности, непрерывности перехода от одного состояния к другому. Поэтому рассмотрим другой подход.

Из множеств значений, принадлежащих наборам $\{x_{jk \min}^{(q)}\}, \{x_{jk \max}^{(q)}\}, q = 1, 2, \dots, Q$, выделим

$$\min_q \{x_{jk \min}^{(q)}\} = a_{jk}, \quad \max_q \{x_{jk \min}^{(q)}\} = b_{jk},$$

$$\min_q \{x_{jk \max}^{(q)}\} = c_{jk}, \quad \max_q \{x_{jk \max}^{(q)}\} = d_{jk}. \quad (2)$$

При этом диапазон $[b_{jk}, c_{jk}]$ содержится во всех диапазонах $A_{jk}^{(q)}, q = 1, 2, \dots, Q$, а диапазон $[a_{jk}, d_{jk}]$ определяет все множество возможных значений x_{jk} . Тогда четверку $(a_{jk}, b_{jk}, c_{jk}, d_{jk})$ можно интерпретировать как описание неточного множества

в терминах, предложенных в [4] Павляком. В соответствии с введенным в [4] формализмом, неточное множество определяется нижним и верхним приближениями. При этом нижнее приближение – это подмножество, содержащее объекты, несомненно принадлежащие рассматриваемому неточному множеству, а верхнее приближение – это подмножество, включающие объекты, возможно принадлежащие неточному множеству.

В этих терминах интервал $[b_{jk}, c_{jk}]$ – нижнее приближение для неточного числа x_{jk} , а интервал $[a_{jk}, d_{jk}]$ – верхнее приближение.

С другой стороны набор

$$(a_{jk}, b_{jk}, c_{jk}, d_{jk})$$

может непротиворечивым образом истолкован как приближенное описание трапецеидальной функции принадлежности нечеткого числа x_{jk} :

$$m(x_{jk}) = \begin{cases} 0, & x_{jk} < a_{jk}, \\ \frac{x_{jk} - a_{jk}}{b_{jk} - a_{jk}}, & a_{jk} \leq x_{jk} < b_{jk}, \\ 1, & b_{jk} \leq x_{jk} < c_{jk}, \\ \frac{d_{jk} - x_{jk}}{d_{jk} - c_{jk}}, & c_{jk} \leq x_{jk} < d_{jk}, \\ 0, & d_{jk} < x_{jk}. \end{cases} \quad (3)$$

Приведенные соотношения иллюстрируются рис. 1 для $Q = 5$, на котором отображены возможные диапазоны $A_{jk}^{(q)}$, $q = 1, 2, 3, 4, 5$, и формируемая в соответствии с (2),(3) функция принадлежности нечеткого числа x_{jk} .

Теперь для конкретного параметра x_j соотношения (2), определяющие наборы $\{[a_{j1}, b_{j1}, c_{j1}, d_{j1}], [a_{j2}, b_{j2}, c_{j2}, d_{j2}], \dots, [a_{jm}, b_{jm}, c_{jm}, d_{jm}]\}$, задают границы диапазонов, идентифицирующих состояния объекта по результатам контроля параметра x_j , а соотношения (3) – функции принадлежности соответствующих нечетких чисел, что в совокупности обеспечивает возможность непосредственного применения стандартных технологий нечетких ЭС для диагностики состояния объектов [1, 2]. Понятно, что полученные экспертные данные могут быть использованы и для получения гладких аппроксимаций функций принадлежности нечетких параметров объекта.

Выберем контролируемый параметр x_j и набор разбиений диапазона возможных значений этого параметра, задаваемый по результатам экспертных оценок матрицей A_j .

Выделим из этой матрицы диапазоны значений, соответствующие k -му фрейму переменной x_j . Получим набор $A_{jk}^{(1)}, A_{jk}^{(2)}, \dots, A_{jk}^{(Q)}$. Теперь для каждого из диапазонов $A_{jk}^{(q)}$ введем функцию

$$\varphi_{jk}^{(q)}(x_j) = \begin{cases} 1, & x_j \in [x_{jk \min}^{(q)}, x_{jk \max}^{(q)}], \\ 0, & x_j \notin [x_{jk \min}^{(q)}, x_{jk \max}^{(q)}], \end{cases}$$

$$j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad q = 1, 2, \dots, Q.$$

Определим функцию

$$\Phi_{jk}(x_j) = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q \varphi_{jk}^{(q)}(x_j). \quad (4)$$

Понятно, что полученная кусочно-постоянная функция $\Phi_{jk}(x_j)$ неотрицательна, выпукла вверх и

$$\max_{x_j \in [a_{jk}, d_{jk}]} \Phi_{jk}(x_j) = 1.$$

Функция (4) обладает всеми свойствами функций принадлежности и может быть аппроксимирована гладкой функцией колоколообразного вида, например, гауссоидой. Параметры аппроксимирующей функции можно найти, используя интегральный метод наименьших квадратов [5, 6]. Введем функционал

$$J = \int_{a_{jk}}^{d_{jk}} \left[\Phi_{jk}(x_j) - \exp\left\{-\frac{(x_{jk} - m_{jk})^2}{2\sigma_{jk}^2}\right\} \right]^2 dx_{jk}. \quad (5)$$

Минимум (5) по m_{jk}, σ_{jk}^2 отыскивается численно и определяет параметры аппроксимирующей кривой.

Таким образом, предложенная методика обеспечивает возможность конструктивного определения функций принадлежности нечетких значений контролируемых параметров объекта с использованием минимальной информации о них, содержащейся в экспертных заключениях о границах интервалов, на которые разбивается исходное множество возможных значений переменных.

Выводы

Рассмотрен подход к построению функций принадлежности нечетких значений контролируемых параметров объекта по данным интервального экспертного оценивания границ диапазонов, соответствующих возможным состояниям объекта. Проводится интерпретация полученных результатов в терминах неточных и нечетких множеств.

Список литературы

1. Борисов В.В. *Нечеткие модели и сети*. / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С.Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
2. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech* / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.

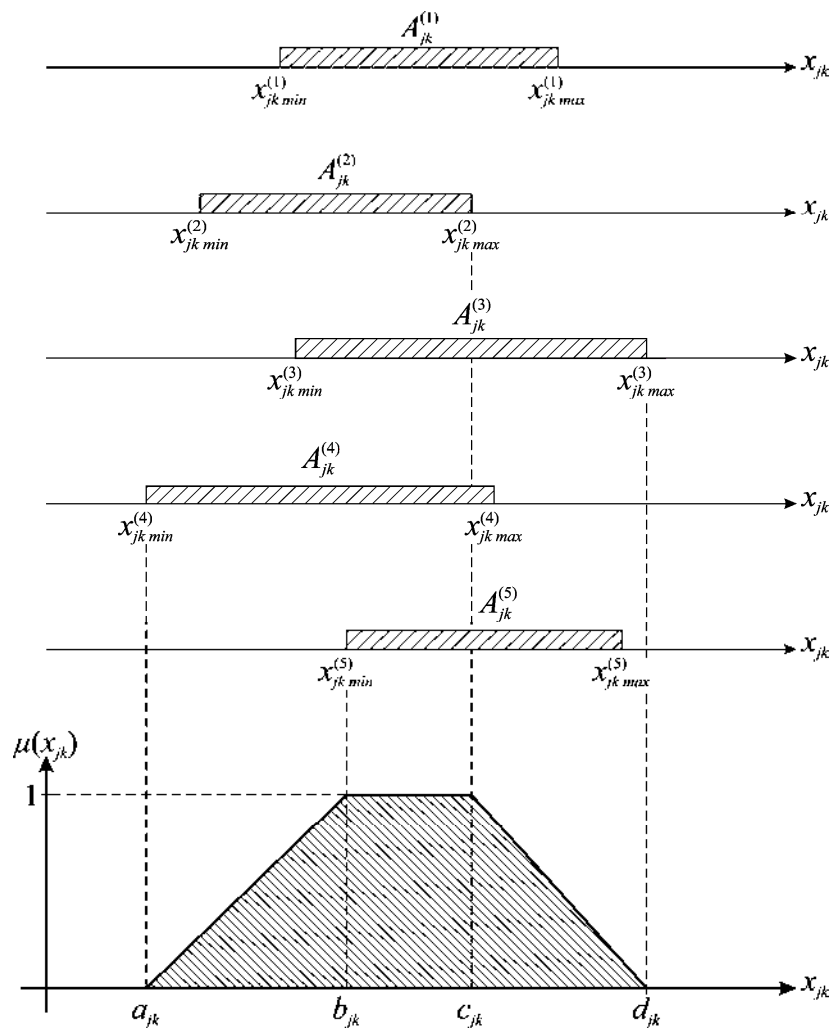


Рис. 1. Диапазоны значений $A_{jk}^{(q)}$ и функция принадлежности нечеткого числа x_{jk}

3. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус, 2008. – 352 с.

4. Pawlac Z. Rough Sets / Z. Pawlac // International Journal of Information and Computer Sciences. – 1982. – Vol. 11, No.5. – P. 341-356.

5. Раскин Л.Г. Математические методы исследования операций и анализ сложных систем / Л.Г. Раскин. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – 178 с.

6. Костенко Ю.Т. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскин. – Х.: Основа. – 303 с.

Поступила в редколлегию 1.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Порошин, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕЧІТКИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Л.Г. Раскін, О.В. Сіра, Т.І. Каткова, В.О. Головка

У задачі оцінювання стану об'єктів в умовах невизначеності традиційно використовуються нечіткі експертні системи. Принциповим і проблемним елементом технології використання таких експертних систем є процедура формування функцій належності нечітких значень контрольованих параметрів діапазонами значень, які ідентифікують можливі стани об'єкта. Запропоновано методику формальної побудови шуканих функцій належності за результатами експертного оцінювання кордонів діапазонів можливих значень контрольованих параметрів об'єктів.

Ключові слова: нечітка експертна система, функції належності, технологія побудови функцій належності, експертні дані.

INFORMATION SUPPORT OF FUZZY EXPERT SYSTEMS

L.G. Raskin, O.V. Sira, T.I. Katkova, V.O. Golovko

In the problem of estimating the state of objects in the face of uncertainty traditionally used fuzzy expert system. A fundamental element of the technology and problem use of such expert systems is the procedure of forming functions of fuzzy values of monitored parameters ranges of values that identify the possible states of an object. The technique of constructing the required formal membership functions based on the results of expert evaluation range limits the possible values of monitored parameters of objects.

Keywords: fuzzy expert system, functions of belonging, technology of construction of functions of belonging, expert information.