

*М.В. БУРЦЕВ*, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),

*А.И. ПОВОРОЗНЮК*, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

## **ВЫБОР ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СИМПТОМОКОМПЛЕКСОВ В КОМБИНИРОВАННОМ РЕШАЮЩЕМ ПРАВИЛЕ**

Рассмотрены классические функции принадлежности, используемые в системах, построенных на нечеткой логике. Обоснован выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов заболеваний, применяемых в комбинированном решающем правиле для системы поддержки принятия решений в медицине. Ил.: 1. Табл.: 2. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** функция принадлежности, нечеткая логика, симптомокомплекс, комбинированное решающее правило, система поддержки принятия решений.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Для описания экспертных оценок в комбинированном решающем правиле (КРП), основанном на объединении вероятностного метода Вальда и описания структуры симптомокомплексов [1], применяемого в медицинской системе поддержки принятия решений [2], предложено использование нечеткой логики [3, 4]. При таком подходе *существует проблема построения функций принадлежности* (ФП), выражающих соответствие значений диагностических признаков лингвистическим переменным, описывающим симптомокомплексы заболеваний. Данная проблема является более острой в случае отсутствия квалифицированного эксперта в данной предметной области.

Нечёткая логика и теория нечётких множеств – раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств. Понятие нечёткой логики было впервые введено профессором Лютфи Заде в 1965 году. В [5] понятие множества было расширено допущением, что функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале  $[0, 1]$ , а не только 0 или 1.

Функция принадлежности нечёткого множества – обобщение индикаторной (или характеристической) функции классического множества. В нечёткой логике она представляет степень принадлежности каждого члена пространства рассуждения к данному нечёткому множеству. Степени принадлежности часто отождествляют с вероятностями, хотя они принципиально отличны. Тем не менее, вероятностные и нечеткие методы предназначены для решения одной и той же задачи классификации. Будучи полученными из разных предпосылок (статистика и мнение эксперта), они описывают общую проблему с различных позиций. Поэтому их совместное использование возможно и перспективно [1].

Согласно [6] выделяют следующие классы функций принадлежности:

1) *Функция принадлежности класса  $s$*  (рис. 1а) определяется как:

$$s(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ 2\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2, & a \leq x \leq b, \\ 1-2\left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2, & b \leq x \leq c, \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (1)$$

2) *Функция принадлежности класса  $\pi$*  (рис. 1б) определяется через функцию класса  $s$ :

$$\pi(x, a, b, c) = \begin{cases} s(x, c-b, c-\frac{b}{2}, c), & x \leq c, \\ 1-s(x, c, c+\frac{b}{2}, c+b), & x \geq c. \end{cases} \quad (2)$$

3) *Функция принадлежности класса  $L$*  (рис. 1в):

$$L(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a, \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 0, & x \geq b. \end{cases} \quad (3)$$

4) *Функция принадлежности класса  $\gamma$*  (рис. 1г) определяется по выражению:

$$\gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$

5) *Функция принадлежности класса  $t$*  (рис. 1д):

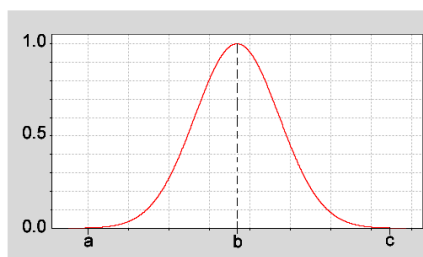
$$t(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (5)$$

На основании классов  $\gamma$  и  $L$  может быть предложен обобщенный класс  $T$ , который представляет трапецию (рис. 1е):

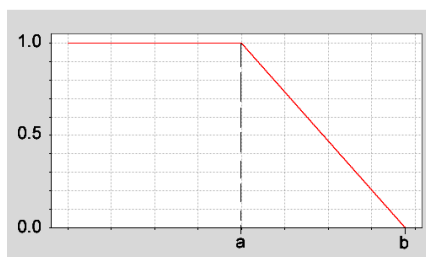
$$T(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & c \geq x \geq b, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & x \geq d. \end{cases} \quad (6)$$



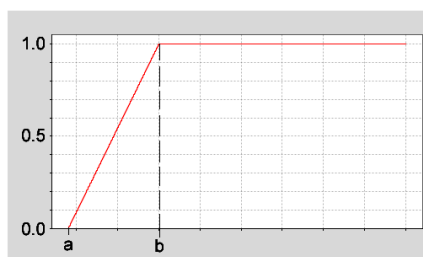
а)



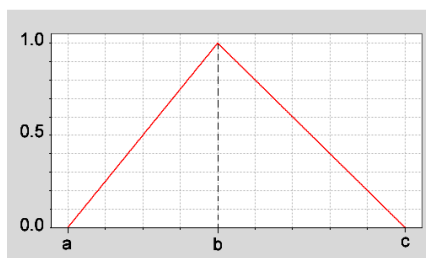
б)



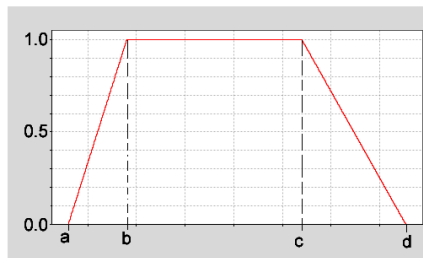
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Внешний вид функций принадлежности:  
а)  $s$  класс; б)  $\pi$  класс; в)  $L$  класс; г)  $\gamma$  класс; д)  $t$  класс; е)  $T$  класс.

**Целью статьи** является обоснование выбора формы функций принадлежности для описания лингвистических переменных, представляющих симптомокомплексы заболеваний и применяемых в комбинированном решающем правиле.

**Применение нечеткой логики в КРП.** Так как разработанное КРП призвано реализовать процедуру постановки уточняющего диагноза [7] с использованием иерархической структуры [8], особенность применения

нечеткой логики заключается в отсутствии этапа дефазификации. Рассчитанные значения функций принадлежности, взвешенные коэффициентами, задающими значимость признака в симптомокомплексе заболевания, используются при вычислении отношения правдоподобия

$$\Omega = \prod_{j=1}^m \frac{h(x_j / D_q)}{h(x_j / D_w)}, \quad (7)$$

где  $h(x_j / D_k)$  – сумма оценок вероятностной и нечеткой составляющих, рассчитанная по выражению

$$h(x_j / D_k) = k_1 P(x_{ji} / D_k) + k_2 \mu_1(x_j / D_k), \quad (8)$$

где  $P(x_{ji} / D_k)$  – значение вероятности наличия признака  $x_j$ , попадающего в интервал  $\tau_i$ , при диагнозе  $D_k$ , рассчитанное по обучающей выборке;  $\mu_1(x_j / D_k)$  – взвешенное значение функции принадлежности, описывающей признак  $x_j$  при диагнозе  $D_k$ .

**Выбор оптимальных функций принадлежности.** Как известно из медицинских справочников [9, 10], врачи-специалисты чаще всего оперируют понятием нормы показателя, что выражается в разбивке динамического диапазона признака на три интервала: "ниже нормы", "норма", "выше нормы". По данным обучающей выборки для каждого диагноза  $D_k$  для всех признаков  $x_j$  определяется количество объектов, которые попадают в указанные интервалы (относительно нормы). Возможны ситуации:

1) Если максимальное количество объектов приходится на интервал "ниже нормы" ("выше нормы"), а интервал "выше нормы" ("ниже нормы") является пустым, то считается, что лингвистическая переменная, описывающая заданный признак  $x_j$  при диагнозе  $D_k$  соответствует терму "ниже нормы" ("выше нормы"), а внешний вид функции принадлежности отвечает некоторой кривой класса  $s$ , принимающей максимальное значение на интервале "ниже нормы" ("выше нормы") и плавно убывающей (возрастающей) на интервале "норма". Ситуация "выше нормы" соответствует рис. 1а.

2) Если же подавляющее большинство объектов (при заданных  $x_j$  и  $D_k$ ) сосредоточена в пределах "нормы", то возможно использование ФП  $t$ ,  $\pi$  или  $T$  класса. При этом необходимо решить задачу выбора параметров ФП. Для этого можно применить один из алгоритмов: полный перебор значений параметров в допустимых пределах с некоторым шагом, случайный поиск с адаптацией, эволюционные или генетические алгоритмы [6].

Для выбора оптимальной функции принадлежности, описывающей состояние нормы, проведены исследования на данных клинического анализа

крови по 9 показателям для обучающей выборки (табл. 1), которая включает 434 объекта, представляющих 10 диагностируемых состояний.

Таблица 1. Структура обучающей выборки

| Код диагноза по МКБ-10 | Псевдоним | Количество человек |
|------------------------|-----------|--------------------|
| Здоров                 | D0        | 243                |
| D64.9                  | D1        | 29                 |
| I42.9                  | D2        | 10                 |
| I25.9                  | D3        | 17                 |
| L95.9                  | D4        | 24                 |
| K81.1                  | D5        | 21                 |
| J18.9                  | D6        | 16                 |
| B27.9                  | D7        | 28                 |
| C91.1                  | D8        | 26                 |
| N18.9                  | D9        | 20                 |
| Всего                  |           | 434                |

Для всех объектов обучающей выборки было применено КРП с  $k_1 = 0$  (в выражении (8)), что соответствует применению аппарата нечеткой логики без учета вероятностной составляющей, с использованием различных классов ФП. Результаты приведены в табл. 2, где  $N_d$  – количество правильно классифицированных объектов.

Таблица 2. Результат работы нечеткой составляющей

| Код диагноза по МКБ-10 | Количество человек | Класс функции принадлежности |       |       |       |       |       |
|------------------------|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        |                    | $T$                          |       | $t$   |       | $\pi$ |       |
|                        |                    | $N_d$                        | %     | $N_d$ | %     | $N_d$ | %     |
| Здоров                 | 243                | 129                          | 53.08 | 8     | 3.29  | 146   | 60.08 |
| D64.9                  | 29                 | 24                           | 82.75 | 15    | 51.72 | 12    | 41.37 |
| I42.9                  | 10                 | 1                            | 10.00 | 3     | 30.00 | 5     | 50.00 |
| I25.9                  | 17                 | 3                            | 17.64 | 4     | 23.52 | 0     | 0.00  |
| L95.9                  | 24                 | 24                           | 100.0 | 9     | 37.50 | 15    | 62.50 |
| K81.1                  | 21                 | 12                           | 57.14 | 13    | 61.90 | 19    | 90.47 |
| J18.9                  | 16                 | 6                            | 37.50 | 5     | 31.25 | 6     | 37.50 |
| B27.9                  | 28                 | 28                           | 100.0 | 7     | 25.00 | 21    | 75.00 |
| C91.1                  | 26                 | 22                           | 84.61 | 6     | 23.07 | 17    | 65.38 |
| N18.9                  | 20                 | 18                           | 90.00 | 9     | 45.00 | 18    | 90.00 |
| Всего                  | 434                | 267                          | 61.52 | 79    | 18.20 | 259   | 59.67 |

Из полученных данных следует, что наиболее предпочтительным является использование функций принадлежности класса  $T$  – трапеций, угол наклона боковых сторон которых зависит от величины среднеквадратического отклонения значения признака относительно коридора нормы в ту или иную сторону (выше/ниже нормы).

**Выводы.** Проведен анализ существующих функций принадлежности, применяемых в экспертных системах, основанных на использовании нечеткой логики. Обоснован выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в КРП для системы поддержки принятия решений в медицине.

**Список литературы:** 1. Бурцев М.В. Синтез комбинированного решающего правила в задаче медицинской диагностики / М.В. Бурцев, А.И. Поворозник // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 27 – 33. 2. Джарратано Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 1152 с. 3. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с. 4. Новак В. Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкрож. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с. 5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 6. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 7. Поворозник А.И. Метод постановки уточняющего диагноза в компьютерных системах медицинской диагностики при иерархической структуре диагностических признаков / А.И. Поворозник // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 3(9). – С. 125 – 130. 8. Поворозник А.И. Синтез иерархической структуры диагностических признаков в компьютерных системах медицинской диагностики / А.И. Поворозник // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ"ХПІ", 2003. – № 7. – Т. 2. – С. 39 – 44. 9. Справочник практического врача / Под ред. А.А. Михайлова, Л.И. Дворецкого. – М.: Новая Волна, 2001. – 528 с. 10. Справочник терапевта / Под ред. Ф.И. Комарова. – К.: Здоров'я, 1980. – 656 с.

*Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" Серковым А.А.*

УДК 681.3

**Вибір функцій приналежності для опису симптомокомплексів у комбінованому вирішальному правилі / Бурцев М.В., Поворозник А.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 31. – С. 10 – 15.**

Розглянуто класичні функції приналежності, що використовуються в системах, які побудовані на нечіткій логіці. Обґрунтовано вибір функцій приналежності для опису симптомокомплексів захворювань, що застосовуються у комбінованому вирішальному правилі для системи підтримки прийняття рішень в медицині. Іл.: 1. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** функція приналежності, нечітка логіка, симптомокомплекс, комбіноване вирішальне правило, система підтримки прийняття рішень.

UDC 681.3

**Choice of symptom complex description membership functions for combined decision rule / Burtsev M.V., Povoroznik A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 10 – 15.**

Classic membership functions using in fuzzy logic based systems was reviewed. Choice of symptom complex description membership functions for combined decision rule using in the medical support decision-making system was grounded. Figs.:1. Tabl.: 2. Refs: 10 titles.

**Key words:** membership function, fuzzy logic, symptom complex, combined decision rule, system of support decision-making.

*Поступила в редакцію 25.05.2010*