

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 π* (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 γ* (рис. 1г) определяется по выражению:

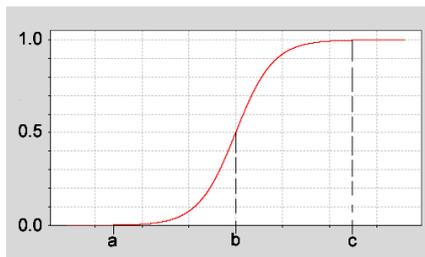
$$\gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$

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

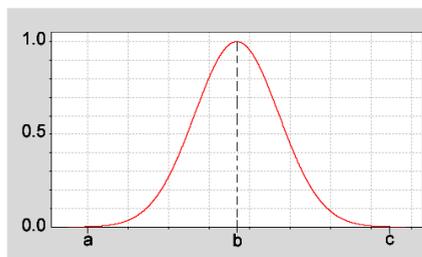
$$t(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (5)$$

На основании классов γ 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)



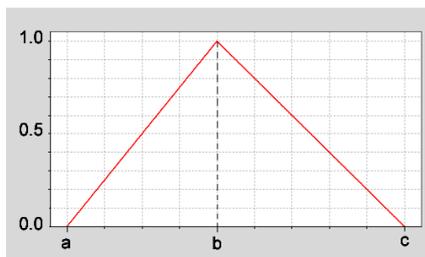
б)



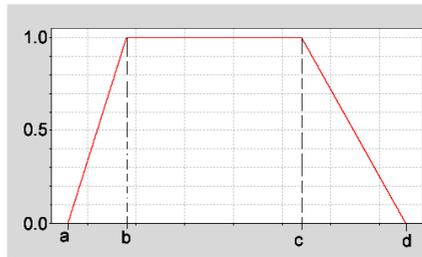
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Внешний вид функций принадлежности:
а) s класс; б) π класс; в) L класс; г) γ 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 τ_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) сосредоточенная в пределах "нормы", то возможно использование ФП t , π 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		π	
		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