

УДК 681.511.46

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-110-116

Формирование функций принадлежности в системах диагностики на базе нечеткого логического вывода

Д.В. Хрипков

Представлены результаты исследований качества работы тестовой системы диагностики с наиболее характерными взаимными расположениями множеств значений признаков по патологиям и в зависимости от видов функций принадлежности. Для исследования результатов использована статистическая модель объекта.

Рассмотрены системы из двух, трех и группы термов. Для группы была сформирована методика определения оптимального количества термов. В результате исследования доказано, что группа термов дает большее количество верных результатов, однако существуют ошибки между пиками активных термов. Для устранения этой проблемы было предложено объединить группы термов в модифицированные термы, индивидуальные для каждой неисправности. Таким образом, получилось два вида объединения: трапецидальный и треугольный. В случае трапецидального вида термов количество верных диагнозов возросло, однако осталось большое количество спорных диагнозов. Для их устранения исследовали треугольный вид термов. В результате для данной модели объекта наилучшим образом показала себя система с использованием индивидуального треугольного терма. Однако выбор количества и типа термов зависит от начальных данных, а именно от размеров областей распределения, их взаимного расположения, варианта и диапазона пересечения этих областей. Также система с индивидуальным треугольным термом позволила сформировать термы таким образом, что итоговый терм совпадал с термами системы меньшего порядка.

Ключевые слова: функция принадлежности, область распределения, максимный базис, модифицированный базис, терм, статистическая модель.

Для цитирования: Хрипков Д.В. Формирование функций принадлежности в системах диагностики на базе нечеткого логического вывода // Вестник МЭИ. 2017. № 4. С. 110—116. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-110-116.

Shaping the Membership Functions in Fuzzy Logic Inference Based Diagnostic Systems

D.V. Khripkov

The article presents the results from studying the performance quality of a test diagnostic system involving the most characteristic mutual arrangements of the sets containing the pathology sign values and depending on the types of membership functions. A statistical model of the object was used to study the diagnostic results.

Systems consisting of two, three, and a group of terms were considered. A procedure for determining the optimal number of terms in the group was elaborated. The study has shown that the group of terms yields a greater number of accurate results; however, there exist errors between the peaks of active terms. To resolve this problem, it was suggested to unite the groups of terms into modified terms that are specific for each problem. Thus, two kinds of uniting were proposed: trapezoidal and triangular. With trapezoid terms, a greater number of correct diagnostic results were obtained; however, a large number of disputable diagnostic results remained. For removing disputable diagnostic results, triangular terms were studied. A system containing an individual triangular term was found to be the best one for the considered object model. On the other hand, the choice of the number and type of terms depends on the initial data, namely, on the size of distribution areas, on their mutual arrangement, version, and range of their intersection. Also, the use of a system involving an individual triangular shape made it possible to shape the terms so that the final term coincided with the lower order system terms.

Key words: membership function, distribution area, maxmin basis, modified basis, term, statistical model.

For citation: Khripkov D.V. Shaping the Membership Functions in Fuzzy Logic Inference Based Diagnostic Systems. MPEI Vestnik. 2017; 4: 110—116. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-110-116.

Формирование терм-множеств лингвистических переменных и соответствующих им функций принадлежности в системах диагностики конкретных текущих состояний сложных объектов является наименее изученной проблемой. Существующие исследования [1—5] рекомендуют для конкретных термов трапецидальную либо треугольную форму функций. Вместе с тем зависимость результатов работы диагностических систем от количества термов, соответствующих им функций принадлежности и их расположение по отношению к областям распределений числовых значений признаков нуждаются в дополнительном изучении. Целью данной работы является проведение с использованием тестовой диагностической системы (ДС) сравнительного анализа эффективности ДС, базирующихся на нечетком логическом выводе [6—8], в зависимости от вида и сложности функций принадлежности и областей распределений числовых значений признаков соответствующих состояний диагностируемого объекта. Понятие «состояние объекта» включает в себя нормальное его функционирование, когда все диагностируемые числовые признаки находятся в определенных допусках, а также конечное число возможных состояний, когда отдельные признаки отклоняются от нормы, но сам объект остается работоспособным. В медицине подобные состояния называют патологиями.

В тестовой ДС для исследования влияния количества термов и вида и расположения функций принадлежности по отношению к областям распределений множеств значений признаков были сформированы наиболее характерные области множеств значений признаков для диагностируемых состояний, показанные на рис. 1.

Исследуемая тестовая система учитывает следующие характерные особенности состояний по распределениям значений признаков:

- числовые значения признака одного состояния полностью перекрывают значения признака другого (признак *A*, состояния *N2*, *N3*);
- числовые значения признака одного состояния перекрывают значения признаков остальных состояний (признак *B*);

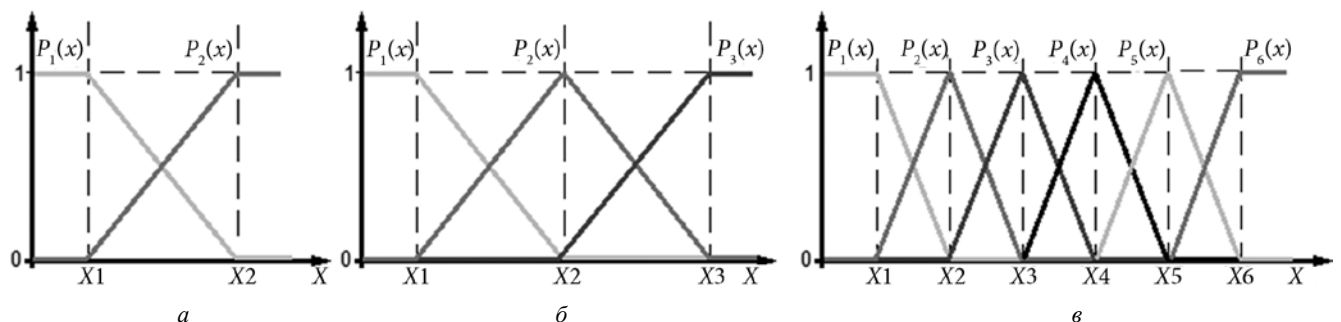


Рис. 1. Области значений признаков состояний тестовой ДС:

◆ — *N1*; ■ — *N2*; ▲ — *N3*

- числовые значения признака одного состояния не пересекаются с числовыми значениями признака остальных состояний (признак *C*, состояние *N3*);
- числовые значения признака для разных состояний имеют незначительные области пересечения (признак *B*, состояния *N1* и *N2*);
- числовые значения признака для разных состояний имеют значительные области пересечения (признак *C*, состояния *N1* и *N2*);

На рис. 2 показаны три вида исследуемых функций принадлежности.

Приведем результаты исследований работы ДС с подобными функциями.

Диагностические системы с двумя термами на каждый признак

Функции принадлежности данной ДС показаны на рис. 2, *a*. Здесь X_1 , X_2 — минимальное и максимальное значения выборки по признаку; $P_1(x)$, $P_2(x)$ — термы, описанные следующими соотношениями:

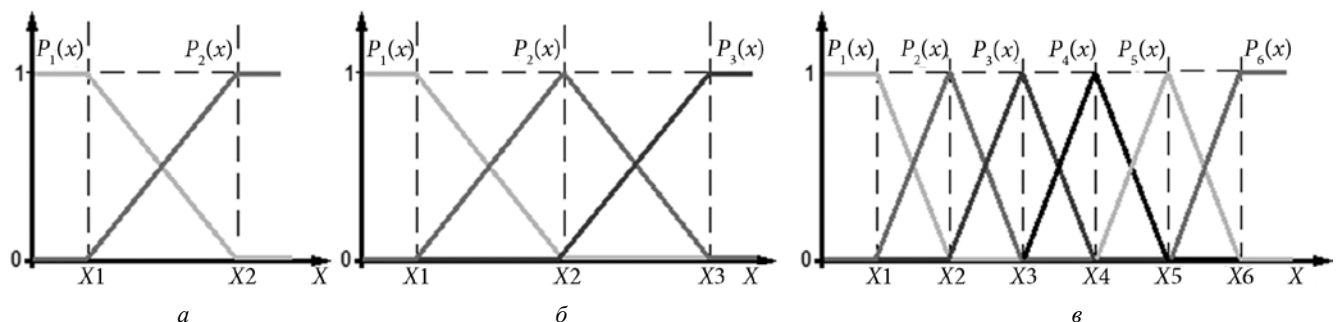


Рис. 2. Виды функций принадлежности для двух, трех и шести термов

$$\begin{cases} P_1(x) = 1, & x \leq x_1; \\ P_1(x) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, & x_1 < x < x_2; \\ P_1(x) = 0, & x \geq x_2; \\ P_2(x) = 0, & x \leq x_1; \\ P_2(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & x_1 < x < x_2; \\ P_2(x) = 1, & x \geq x_2. \end{cases}$$

Для диагностики состояний объекта необходимо составить таблицу соответствия между терминами по каждому состоянию и признаку. Чтобы определить, какой терм соответствует конкретному состоянию, следует определить, к какому терму больше относится соответствующая область. Для признака *A* состояние *N1* располагается больше в левой части, поэтому соответствует терму *P₁*, *N2* и *N3* — терму *P₂*. По аналогии проводится сопоставление и по остальным признакам, однако для признака *B* состояние *N3* почти одинаково относится как к терму *P₁*, так и к терму *P₂*. Следовательно, табл. 1 соответствия выглядит следующим образом.

Таблица 1

Таблица соответствия термов состояниям и признакам

Терм	Признак					
	A		B		C	
	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>
<i>N1</i>	1	0	1	0	1	0
<i>N2</i>	0	1	0	1	1	0
<i>N3</i>	0	1	1	1	0	1

Для оценки степени принадлежности тому или иному состоянию объекта для каждого признака используется максиминный базис, который заключается в выборе наибольшего значения среди функций принадлежности термов, привязанных к конкретному состоянию объекта. При этом значения функций принадлежности лежат в пределах [0...1]. Отсюда следует, что $\min[P, 0] = 0$, а $\min[P, 1] = P$. Степени принадлежности для данного базиса определяются соотношениями

$$P(N1) = \max \begin{bmatrix} \min[P_1(A), 1] \\ \min[P_2(A), 0] \\ \min[P_1(B), 1] \\ \min[P_2(B), 0] \\ \min[P_1(C), 1] \\ \min[P_2(C), 0] \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} P_1(A) \\ P_1(B) \\ P_1(C) \end{bmatrix};$$

$$P(N2) = \max \begin{bmatrix} \min[P_1(A), 0] \\ \min[P_2(A), 1] \\ \min[P_1(B), 0] \\ \min[P_2(B), 1] \\ \min[P_1(C), 1] \\ \min[P_2(C), 0] \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} P_2(A) \\ P_2(B) \\ P_1(C) \end{bmatrix};$$

$$P(N3) = \max \begin{bmatrix} \min[P_1(A), 0] \\ \min[P_2(A), 1] \\ \min[P_1(B), 1] \\ \min[P_2(B), 1] \\ \min[P_1(C), 0] \\ \min[P_2(C), 1] \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} P_2(A) \\ P_1(B) \\ P_2(B) \\ P_2(C) \end{bmatrix}.$$

Был исследован модифицированный базис, заключающийся в подсчете среднего результата среди активных ($\text{act}[P, 1]$ — активный) и неактивных ($\text{act}[P, 0]$ — неактивный) термов, привязанных к данному состоянию. Степени принадлежности для модифицированного базиса выглядят следующим образом:

$$P(N1) = \text{mean} \begin{bmatrix} \text{act}[P_1(A), 1] \\ \text{act}[P_2(A), 0] \\ \text{act}[P_1(B), 1] \\ \text{act}[P_2(B), 0] \\ \text{act}[P_1(C), 1] \\ \text{act}[P_2(C), 0] \end{bmatrix} = \text{mean} \begin{bmatrix} P_1(A) \\ P_1(B) \\ P_1(C) \end{bmatrix};$$

$$P(N2) = \text{mean} \begin{bmatrix} \text{act}[P_1(A), 0] \\ \text{act}[P_2(A), 1] \\ \text{act}[P_1(B), 0] \\ \text{act}[P_2(B), 1] \\ \text{act}[P_1(C), 1] \\ \text{act}[P_2(C), 0] \end{bmatrix} = \text{mean} \begin{bmatrix} P_2(A) \\ P_2(B) \\ P_1(C) \end{bmatrix};$$

$$P(N3) = \text{mean} \begin{bmatrix} \text{act}[P_1(A), 0] \\ \text{act}[P_2(A), 1] \\ \text{act}[P_1(B), 1] \\ \text{act}[P_2(B), 1] \\ \text{act}[P_1(C), 0] \\ \text{act}[P_2(C), 1] \end{bmatrix} = \text{mean} \begin{bmatrix} P_2(A) \\ P_1(B) \\ P_2(B) \\ P_2(C) \end{bmatrix}.$$

В обоих вариантах в качестве итогового диагноза выделяется состояние с наибольшей степенью соот-

ветствия. Если степень соответствия у двух или более диагностируемых состояний с определенной точностью совпадают, то подобный результат считается спорным (или неоднозначным).

Для проверки данного метода использовалась статистическая модель диагностируемого объекта [5] и было разработано программное обеспечение (ПО), генерирующее объекты с нормальным и равномерным распределениями признаков из заданных областей. Для каждого диагностируемого состояния было сгенерировано по 100 объектов. Количество ошибочных «-», верных «+» и спорных «?» результатов диагностики сведено в табл. 2.

Таблица 2

Результаты диагностирования модельных объектов

Базис	N1			N2			N3		
	-	+	?	-	+	?	-	+	?
Равномерное распределение									
Модифицированный	1	96	3	7	90	3	0	100	0
Максиминный	2	31	67	6	0	94	0	6	94
Нормальное распределение									
Модифицированный	0	100	0	3	97	0	0	100	0
Максиминный	0	16	84	3	0	97	0	0	100

Отметим, что в данном варианте максиминный базис демонстрирует существенно больше плохо различимых (спорных) результатов, содержащих как неверный, так и верный диагноз. Общие же количества верных (включая плохо различимые) диагнозов обоих базисов близки. Таким образом, при увеличении информативности системы диагностики количество спорных результатов должно уменьшиться в пользу верных или неверных диагнозов. Эту информативность можно повысить за счет уточнения количества термов и вида функций принадлежности. Эффективность выбираемого подхода проанализируем с использованием обоих рассмотренных базисов.

Низкая точность ДС с максиминным базисом обусловлена тем, что некоторые области распределения находятся по центру области охвата признака, а также тем, что некоторые функции принадлежности охватывают значительно большую область значений признака, чем области значений признака для данного состояния объекта. Поэтому следует увеличить количество термов и тем самым уменьшить области охвата функциями принадлежности значений того или иного признака.

Диагностическая система с тремя термами на каждый признак

Данная система отличается от системы с двумя термами на один признак наличием дополнительной треугольной функции принадлежности (см. рис 2, б, терм $P_2(x)$). Функции принадлежности

$$\begin{cases} P_1(x) = 1, & x \leq x_1; \\ P_1(x) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, & x_1 < x < x_2; \\ P_1(x) = 0, & x \geq x_2; \\ P_2(x) = 0, & x \leq x_1; \\ P_2(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & x_2 < x < x_3; \\ P_2(x) = \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & x_2 < x < x_3; \\ P_2(x) = 0, & x \geq x_3; \\ P_3(x) = 0, & x \leq x_2; \\ P_3(x) = \frac{x - x_2}{x_3 - x_2}, & x_2 < x < x_3; \\ P_3(x) = 1, & x \geq x_3. \end{cases}$$

Аналогичным способом выглядит табл. 3.

Таблица 3

Таблица соответствия термов состояниям объекта и признакам

Терм	Признак								
	A			B			C		
	P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3
N1	1	1	0	1	0	0	1	0	0
N2	0	1	1	0	1	0	1	0	0
N3	0	0	1	1	1	1	0	0	1

Диагностика состояний объекта проводится по тому же алгоритму, что и в системе из двух термов на каждый признак. Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты диагностирования модельных объектов

Базис	N1			N2			N3		
	-	+	?	-	+	?	-	+	?
Равномерное распределение									
Модифицированный	32	67	1	0	100	0	8	91	1
Максиминный	13	53	34	0	62	38	0	79	21
Нормальное распределение									
Модифицированный	33	65	2	0	100	0	2	97	1
Максиминный	7	27	66	0	75	25	0	86	14

В данном варианте при использовании модифицированного базиса результаты ухудшились. Это обусловлено недостаточной точностью соответствия функций принадлежности и областей распределения значений признака соответствующих состояний объекта.

Таблица 6

Однако при использовании максиминного базиса не-точность сглаживается из-за выбора наилучшего тер-ма, в результате количество ошибок снижается. Таким образом, увеличение термов должно повысить качест-во работы системы.

Многотермовая диагностическая система на каждый признак

Для повышения качества работы ДС необходимо выбрать оптимальное количество термов. Если их бу-дет слишком много, то объем вычислений при оцен-ке результатов диагностики существенно возрастает. Для определения оптимального количества термов функции на каждый признак предлагается использо-вать минимальную область значений ($X_2 - X_1$) среди диагностируемых состояний отдельно для каждого признака. Количество термов для каждого признака оценивается как округленное отношение всей области значений признака к половинной области значений $X_2 - X_1$ с возможным изменением полученного значе-ния на единицу:

$$N = \left\lceil \frac{X_{\max} - X_{\min}}{(X_2 - X_1)/2} \right\rceil \pm 1. \quad (1)$$

В рассматриваемой тестовой ДС для каждого при-знака найдем такие состояния объекта, для которого области охвата функциями принадлежности будут при-ближены к минимальным областям значений признака $X_2 - X_1$ выбранного состояния.

В результате применения (1) количество термов для признака *A* должно быть 5, для *B* — 6, для *C* — 7. Для упрощения подсчетов для всех признаков была разработана система из шести термов. Она отличается от уже рассмотренных систем количеством треугольных функций принадлежности (см. рис. 2, в, $P_2(x) - P_5(x)$) и таблицей соответствия термов состояниям объекта и признакам (табл. 5).

Полученные результаты исследования данной си-стемы показаны в табл. 6.

Из результатов табл 5, 6 видно, что данная система оказалась продуктивней, чем система из трех термов, что вполне соответствует известным положениям, при-нятым при формировании функций принадлежности в нечетких регуляторах [3]. Однако при детальном рас-смотрении шеститермовой ДС на каждый признак можно заметить, что если двум соседним термам со-

Результаты диагностирования генерированных объектов

Базис	N1			N2			N3		
	-	+	?	-	+	?	-	+	?
Равномерное распределение									
Модифициро- ванный	0	87	13	0	90	10	0	100	0
Максиминный	0	58	42	0	59	41	0	97	3
Нормальное распределение									
Модифициро- ванный	0	92	8	0	94	6	0	100	0
Максиминный	0	56	44	0	66	34	0	96	4

ответствует одно состояние объекта, то в пиковых точ-ках функций принадлежности их значение равно 1, а в точках между этими пиками оно будет меньше, что является неверным. Для устранения этого недостатка разработаны два модифицированных вида функций принадлежности.

Дигностическая система с трапецевидными функциями принадлежности

Данная система базируется на многотермовой ДС для каждого признака, но отличается от последней тем, что значения функций принадлежности всех активных термов (термы со значением 1 в таблице соответствия) складываются, тем самым образуются уникальные трапецевидальные термы. Пример такого объединения для признака *B* и состояния объекта *N2* показан на рис 3. Значения признака *B* для состояния объекта *N2* не захватывают крайние функции принадлежности, поэтому видна трапеция.

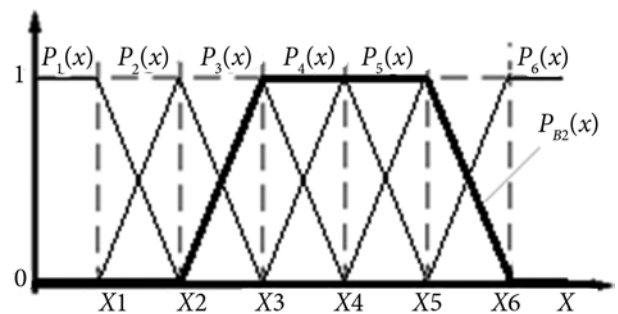


Рис. 3. Пример индивидуальной трапецевидной функции принадлежности

Таблица 5

Таблица соответствия термов состояниям объекта и признакам

Терм	Признак																	
	A						B						C					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
N1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
N2	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
N3	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1

Для каждого состояния диагностируемого объекта определяется максимум по функциям принадлежности, который является степенью принадлежности данного состояния объекта, и состояние с максимальной степенью соответствия признается истинным. Результаты работы такой ДС сведены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты диагностирования модельных объектов

Базис	N1			N2			N3		
	-	+	?	-	+	?	-	+	?
Равномерное распределение									
Модифицированный	5	94	1	0	99	1	0	100	0
Максиминный	1	55	44	0	2	98	0	51	49
Нормальное распределение									
Модифицированный	0	98	2	0	100	0	0	100	0
Максиминный	0	58	42	0	0	100	0	34	66

Большое количество спорных диагнозов в данном варианте ДС обусловлено тем, что функции принадлежности выдают большое количество степеней принадлежности, равных 1, поэтому помимо верных состояний одних и тех же объектов также диагностировались и неверные состояния. Для устранения спорных диагнозов следует убрать зоны с соответствиями, равными 1.

Диагностическая система с индивидуальными треугольными функциями принадлежности

Данная система, как и система с функциями принадлежности трапецидального вида, строится на многотермовой основе, но ее отличие заключается в том, что активные термы объединяются и этому объединению соответствует индивидуальная треугольная функция принадлежности между минимумом признака самой младшей (по номеру) функции принадлежности в объединении и максимумом признака старшей функции принадлежности из объединения. Пример такого объединения для признака B и состояния объекта $N2$ изображен на рис 4.

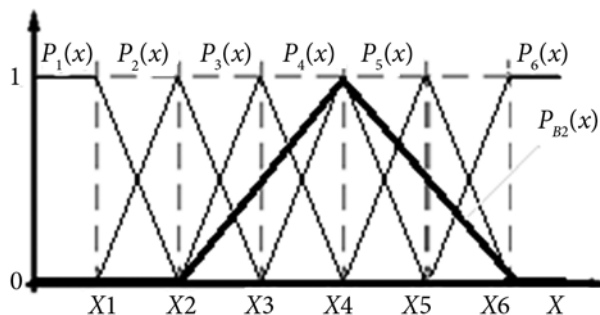


Рис. 4. Пример индивидуальной треугольной функции принадлежности

Диагностика состояний объекта проводится аналогично случаю с трапецидальными функциями принадлежности. Результаты работы ДС представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты диагностирования модельных объектов

Базис	N1			N2			N3		
	-	+	?	-	+	?	-	+	?
Равномерное распределение									
Модифицированный	13	87	0	0	100	0	6	94	0
Максиминный	12	87	1	0	100	0	24	75	1
Нормальное распределение									
Модифицированный	4	94	2	0	100	0	1	98	1
Максиминный	3	97	0	0	100	0	40	58	2

В последнем варианте ДС дает гораздо меньше спорных результатов. Вместе с тем представленные исследования показывают, что выбор вида функций принадлежности в значительной степени зависит от взаимного расположения множеств числовых значений соответствующих признаков состояний диагностируемого объекта. Поэтому при создании конкретных систем диагностики необходим тщательный и взвешенный анализ расположения этих множеств. В некоторых случаях имеет смысл отказаться от создания ДС, объединяющей в себе все признаки, в пользу многоуровневой системы диагностики [4]. Например, рассматриваемую систему имеет смысл делать двухуровневой: на первом уровне признак C позволяет диагностировать состояние объекта $N3$ достаточно уверенно, а потом на втором уровне можно по признакам A и B проводить остальную диагностику.

Таким образом, представленные в работе исследования показывают, что выбор вида функций принадлежности в значительной степени зависит от взаимного расположения множеств числовых значений соответствующих признаков диагностируемых состояний объекта.

При создании конкретных систем диагностики необходим тщательный и взвешенный анализ взаимного расположения множеств числовых значений соответствующих признаков диагностируемых состояний объекта.

ДС с индивидуальными треугольными функциями принадлежности могут оказаться эффективными для объектов с большим числом возможных диагностируемых состояний.

В некоторых случаях имеет смысл отказаться от создания ДС, объединяющей в себе все признаки, в пользу многоуровневой системы диагностики.

Показано, что варианты построения систем диагностики эффективно обрабатываются с использованием статистической модели диагностируемого объекта.

Литература

1. **Норвич А.М., Турскен И.Б.** Построение функций принадлежности // Нечеткие множества и теория возможностей. М.: Радио и связь, 1986. С. 64—71.
2. **Goher K., Tokhi M., Siddique N.** Dynamic Modeling and Control of a Two Wheeled Robotic Vehicle with a Virtual Payload // ARPN J. Eng. and Appl. Sci. 2011. No. 3. Pp. 7—41.
3. **Zadeh L.A.** Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing // Communications of the ACM. 1994. V. 37. No. 3. Pp. 77—84.
4. **Асаи К. и др.** Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993.
5. **Колосов О.С., Анисимов Д.Н., Хрипков Д.В.** Исследование многоуровневых нечетких диагностических систем с использованием стохастической модели // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 4. С. 254—261.
6. **Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я.** Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990.
7. **Анисимов Д.Н. и др.** Диагностика текущего состояния динамических объектов и систем сложной структуры методами нечеткой логики с использованием имитационных моделей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 3. С. 39—50.
8. **Анисимов Д.Н.** Формализация процедуры исключения транзитивно замыкающих дуг при организации иерархической структуры на множестве нечетких ситуаций // Вестник МЭИ. 2011. № 4. С. 34—40.

References

1. **Norvich A.M., Tursken I.B.** Postroenie Funkcij Prinadlezhnosti. Nechetkie Mnozhestva i Teoriya Vozmozhnostej. M.: Radio i Svyaz', 1986:64—71. (in Russian).
2. **Goher K., Tokhi M., Siddique N.** Dynamic Modeling and Control of a Two Wheeled Robotic Vehicle

with a Virtual Payload. ARPN J. Eng. and Appl. Sci. 2011;3:7—41.

3. **Zadeh L.A.** Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. Communications of the ACM. 1994;37:3:77—84.

4. **Asai K. i dr.** Prikladnye Nechetkie Sistemy. M.: Mir, 1993. (in Russian).

5. **KolosoV O.S., Anisimov D.N., Hripkov D.V.** Issledovanie Mnogourovnevnyh Nechetkih Diagnosticheskikh Sistem s Ispol'zovaniem Stohasticheskoy Modeli. Mekhatronika, Avtomatizaciya, Upravlenie. 2015;16;4: 254—261. (in Russian).

6. **Melihov A.N., Bernshtejn L.S., Korovin S.Ya.** Situacionnye Sovetuyushchie Sistemy s Nechetkoj Logikoj. M.: Nauka, 1990. (in Russian).

7. **Anisimov D.N. i dr.** Diagnostika Tekushchego Sostoyaniya Dinamicheskikh Ob'ektov i Sistem Slozhnoj Struktury Metodami Nechetkoj Logiki s Ispol'zovaniem Imitacionnyh Modelej. Iskusstvennyj Intellekt i Prinyatie Reshenij. 2012;3:39—50. (in Russian).

8. **Anisimov D.N.** Formalizaciya Procedury Isklyucheniya Tranzitivno Zamykayushchih Dug pri Organizacii Ierarhicheskoy Struktury na Mnozhestve Nechetkih Situacij. MPEI Vestnik. 2011;4:34—40. (in Russian).

Сведения об авторе

Хрипков Дмитрий Викторович — аспирант кафедры управления и информатики НИУ «МЭИ», e-mail: hottaby4hrip@mail.ru

Information about author

Khripkov Dmitriy V. — Ph.D.-student of Control and Informatics Dept., NRU MPEI, e-mail: hottaby4hrip@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.05.2016