

*Кочеткова И. А., аспирант  
Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова  
Ковтун Д. Р., консультант  
ООО "ЭйТи Сервис"*

## ДИАГНОСТИКА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРАКТИВНОГО АНАЛИЗА ТОПОЛОГИИ КЛАССОВ СОСТОЯНИЙ И ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

IneSuan@gmail.com

*Рассмотрено расширение функциональных возможностей ранее разработанного нами метода распознавания образов на основе представления многомерных форм классов образов в двумерные в интересах диагностики путем использования теории нечетких множеств, позволяющих определять степени принадлежности точки, характеризующей состояние, к классу допустимых состояний для случая пересечения классов в исходном пространстве*

**Ключевые слова:** *распознавание образов, класс, конфигурация, нечеткие множества, степени принадлежности, анализ, обработка данных, диагностика.*

Решение задачи диагностики (распознавания) состояний сложных объектов [1], например агрегатов летательных аппаратов, основывается на анализе и интерпретации имеющихся данных о текущем состоянии подсистем и его истории эксплуатации. В настоящей статье рассматривается один из возможных подходов к решению задачи автоматизации процедуры распознавания состояний по предварительно построенному многомерному виртуальному образу состояния ( $A_M(t)$ ), и многомерным классам диагнозов  $B_i$  [2, 3]. Класс диагнозов составляют наборы признаков пациентов, имеющих одно для всех выделенное именем состояние. Возможным решением упомянутой выше задачи является использование геометрического метода формирования, визуализации и интерактивного распознавания многомерных образов сложных систем [2, 3]. Одной из основных процедур данного метода является процедура формирования двумерного образа состояния ( $A_2(t)$ ) и двумерных образов классов состояний  $B_{2i}$ , представляющих собой проекции  $A_M(t)$  и  $B_i$  на плоскость  $\{X', Y'\}$  (рис. 1), совпадающую с плоскостью отображающего многоцветного экрана видеомонитора.

Однако при практической реализации метода, описанного в [2, 3], возможны ситуации, обуславливающие неоднозначность принятия управленческого решения о текущем состоянии объекта. Такие ситуации могут появляться в связи с тем, что в  $N$ -мерном пространстве состояний многомерные классы диагнозов  $B_i$  могут совпадать по целому ряду данных, что, в свою очередь, обуславливает частичное пересечение классов состояний  $B_{2i}$  друг с другом. В этих случаях значение  $A_2(t)$  может находиться в области пересечения двух и более  $B_{2i}$  (рис. 1) –  $A_{2B_1B_2}(t)$ .

Следует подчеркнуть, что рассматриваемые ниже пересечения классов состояний в многомерном пространстве признаков после преобразования к двумерным формам представления каждого кортежа состояния конкретных пациентов относится только к неустраняемым пересечениям, то есть пересечениями классов в исходном многомерном пространстве. В разработанном нами методе [2] преобразования многомерных форм представления каждого состояния (диагноза) и классов диагнозов к их двумерным формам представления порождает ложные пересечения классов диагнозов в двумерном пространстве визуализации, что порождает необходимость выполнения разведочного анализа для исследования конфигураций классов состояний, а также их взаимного расположения. Поэтому в метод преобразования форм представления диагнозов встроены инструментальные средства разведочного анализа, основанные на целенаправленном переносе начала координат в многомерном пространстве признаков, для обнаружения и устранения возникающих ложных пересечений двумерных классов  $B_i$ . Для устранения пересечений классов диагнозов для случаев сложных пространственных конфигураций классов диагнозов и их взаимного расположения выполняется рассечение многомерного пространства семейством гиперплоскостей.

В работе [2,3] предложен механизм разведочного анализа, позволяющий исключить неоднозначность решения задачи распознавания состояния объектов области «ложных» пересечений в двухмерном пространстве классов диагнозов ( $A_{2B_1B_2}(t)$ ) при отсутствии фактических пересечений в многомерном пространстве признаков. Данный подход предполагает осуществление совокупности целенаправленных переносов начала координат  $N$ -мерного пространства

признаков в выбранные экспертом точки на двумерной форме представления всех классов диагнозов и выполнить различие фактических и «ложных» пересечений. В результате осуществления таких процедур формируются совокупности ( $A_2^k(t)$ ) и совокупности двумерных форм классов диагнозов ( $B_{2i}^k$ ). При этом о достаточности  $A_2^k(t)$  и  $B_{2i}^k$  судят по факту принадлежности  $A_2^k(t)$  только одному из  $B_{2i}^k$ .

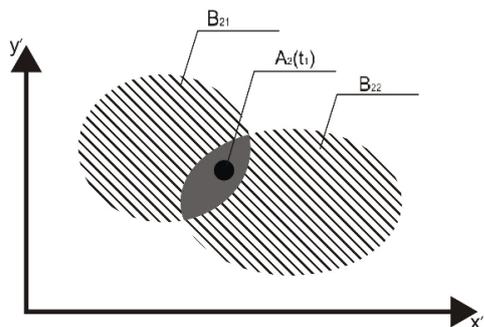


Рис. 1. Топология взаимного положения на плоскости  $\{ X', Y' \}$  двух виртуальных двумерных классов диагнозов с фактическим пересечением в многомерном пространстве признаков

В связи с этим рассмотрим для этой ситуации возможность уменьшения степени неоднозначности распознавания  $A_{2B_1B_2}(t)$ , применяя теорию нечётких множеств, которая позволяет количественно оценивать значение степени принадлежности текущего значения двумерного образа состояния объекта соответствующему образу  $B_{2i}$  в области их фактического пересечения друг с другом. Такой подход предусматривает проведение определённой совокупности процедур [1]. При этом классы диагнозов и виртуальный образ состояния объекта (кортеж признаков) рассматриваются в многомерном признаковом пространстве –  $B_i$  и  $A_{NB_iB_j}(t)$ , где

$A_{NB_iB_j}(t)$  – значение  $A_N(t)$ , находящиеся в области пересечения двух и более  $B_i$ . На первом этапе определяют функции принадлежности для каждого термина лингвистических переменных, характеризующих  $A_{NB_iB_j}(t)$  [4,5]. В связи с этим, все признаки задаются как лингвистические переменные. Далее эксперты определяют, какой из термов лингвистической переменной соответствует тому или иному классу диагнозов  $B_i$ .

Для определённости рассуждений рассмотрим решение поставленной задачи на примере текущего состояния объекта  $A_{NB_iB_j}(t)$ , условно характеризуемого признаками: ( $G_1$ ) – «Вибрация

двигательной установки в контролируемой зоне»; ( $G_2$ ) – «Температура двигательной установки в контролируемой зоне»; ( $G_3$ ) – «Давление в контролируемой зоне» и значениями данных признаков ( $A_1, A_2, A_3$  соответственно), характеризующих текущее состояние объекта  $A_{NB_iB_j}(t)$ . При этом пусть заданные признаки представлены как лингвистические переменные, заданные соответствующими термножествами: «Вибрация» – {Слабая, Умеренная, Сильная}; «Температура» – {Нормальная, Повышенная, Опасная}; «Давление» – {Низкое, Нормальное, Высокое}. Данные признаки как лингвистические переменные, заданные термножествами, иллюстрируются на рисунке 2а, рисунке 2б, рисунке 2с, соответственно.

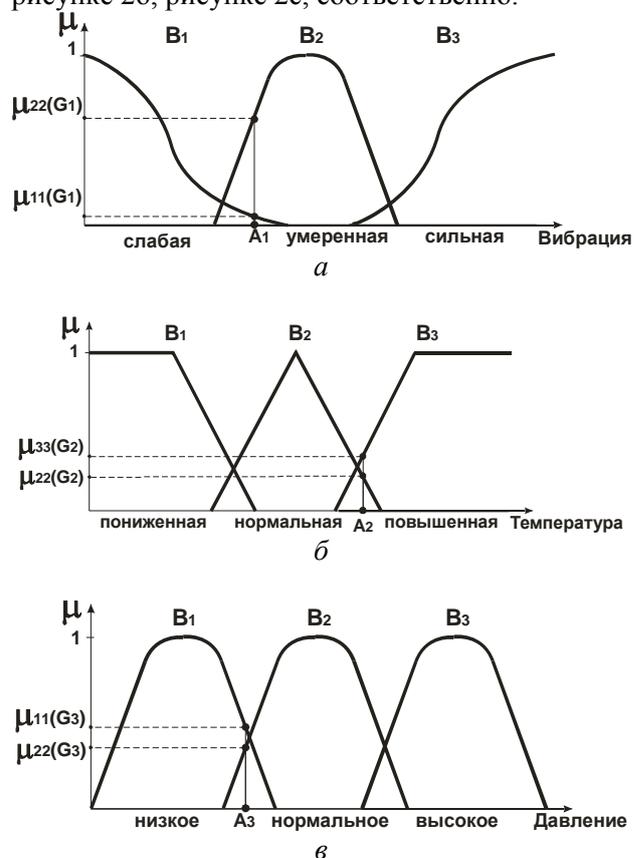


Рис. 2. Лингвистические переменные: а – «Вибрация»; б – «Температура»; в – «Давление»

Дадим характеристику термножествам, описывающим симптомы «Вибрация», «Температура» и «Давление», соответственно:

– Признак «Вибрация»: терм – «Слабая» характерен для класса диагнозов  $B_1$ ; терм – «Умеренная» характерен для класса  $B_2$ ; терм – «Сильная» характерен для класса  $B_3$ ;

–  $\mu_{iq}(G_1)$ , принимающая значения  $\mu_{11}(G_1)$ ,  $\mu_{22}(G_1)$  – функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности признака

«Вибрация» в точке  $A_1$  для классов диагнозов  $B_1, B_2, B_3$ , где  $i - i$ -тый класс,  $q - q$ -тый терм;

-  $A_1, A_2, A_3$  - значение текущего признака, характерного для данного объекта;

-  $B_1, B_2, B_3$  - классы диагнозов (состояний), для которых характерны соответствуют термы признака «вибрация»;

- симптом «Температура»: терм - «Нормальная» характерен для  $B_1$ ; терм - «Повышенная» характерен для  $B_2$ ; терм - «Опасная» характерен для  $B_3$ .

-  $\mu_{iq}(G_2)$ , принимающая значения  $\mu_{22}(G_2), \mu_{33}(G_2)$  - функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности признака «Температура» в точке  $G_2$  для классов  $B_1, B_2, B_3$ , где  $i - i$ -тый класс,  $q - q$ -тый терм;

-  $B_1, B_2, B_3$  - классы диагнозов (состояний), которым соответствуют термы признака «температуры»;

- признак «Давление»: терм - «Низкое» соответствуют классу  $B_1$ , терм - «Нормальное» соответствует  $B_2$ , терм - «Высокое» соответствует  $B_3$ .

-  $\mu_{iq}(G_3)$ , принимающая значения  $\mu_{11}(G_3), \mu_{22}(G_3)$  - функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности признака

$$\mu B_i(G_1) = \max\{\mu_{i1}(G_1), \mu_{i2}(G_1), \mu_{i3}(G_1)\} \tag{1}$$

находят по каждой классу диагнозов  $B_i$  в точке  $A_1$  максимальные значения оценок степени принадлежности среди всех терм-множеств. Полу-

«Давление» в точке  $G_3$  для  $B_1, B_2, B_3$ , где  $i - i$ -тый класс диагнозов,  $q - q$ -тый терм.

По результатам определения степени принадлежности к соответствующим классам  $B_i$  всех терм-множеств в точке  $A_{NB, B_j}(t)$ , характеризующей текущее состояния объекта, строят таблицы для каждого признака. В таблицах строками являются терм-множества признаков, а столбцами являются классы диагнозов. Так, например, построим таблицу степени принадлежности терм-множеств признака - «Вибрация» к соответствующим классам в точке  $A_1$ , анализируя рисунок 2а. Из проведенного анализа (рис. 2а) следует, что степень принадлежности к классу диагноза  $B_1$  таких терм-множеств как: «Слабая вибрация» ( $R_1(G_1)$ ), «Умеренная вибрация» ( $R_2(G_1)$ ), «Сильная вибрация» ( $R_3(G_1)$ ) соответственно равны  $\mu_{11}(G_1) = 0.1, \mu_{12}(G_1) = 0, \mu_{13}(G_1) = 0$ .

Аналогично определяют степень принадлежности к соответствующему классу диагнозов  $B_2$  и  $B_3$  каждого из терм-множеств в точке  $A_1$ . Далее, выполняя операцию  $R$ -нормы (1) получим:

ченные в соответствии с (1) данные заносят в таблицу 1.

Таблица 1.

**Степени принадлежности терм-множеств симптома «Вибрация» в точке  $A_{NB, B_j}(t)$**

	$R_1(G_1)$	$R_2(G_1)$	$R_3(G_1)$	<i>max</i>
$B_1$	$\mu_{11}(G_1) = 0.1$	$\mu_{12}(G_1) = 0$	$\mu_{13}(G_1) = 0$	$\mu B_{11}(G_1) = 0.1$
$B_2$	$\mu_{21}(G_1) = 0$	$\mu_{22}(G_1) = 0.7$	$\mu_{23}(G_1) = 0$	$\mu B_{21}(G_1) = 0.7$
$B_3$	$\mu_{31}(G_1) = 0$	$\mu_{32}(G_1) = 0$	$\mu_{33}(G_1) = 0$	$\mu B_{31}(G_1) = 0$

Проведём аналогичные рассуждения для признака «Температура», который задан своей лингвистической переменной (см. рис. 2б). Из анализа рисунка 2б следует, что степень принадлежности к классу  $B_1$  таких терм-множеств, как: «Нормальная температура» ( $R_1(G_2)$ ), «Повышенная температура» ( $R_2(G_2)$ ), «Опасная температура» ( $R_3(G_2)$ ) соответственно равны  $\mu_{11}(G_2) = 0, \mu_{12}(G_2) = 0, \mu_{13}(G_2) = 0$ . Проводя аналогичный анализ, находят количественные оценки степени принадлежности к каждой области за-

болевания  $B_i$  каждого из терм-множеств в точке  $A_2$ . Далее, осуществляя операцию  $R$ -нормы в соответствии с соотношением (2) находят по каждой области заболевания  $B_i$  в точке  $A_2$  максимальные значения оценок степени принадлежности среди всех терм-множеств.

$$\mu B_i(G_2) = \max\{\mu_{i1}(G_2), \mu_{i2}(G_2), \mu_{i3}(G_2)\} \tag{2}$$

Полученные в соответствии с (2) количественные оценки заносят в таблицу 2.

Таблица 2.

**Степени принадлежности терм-множеств симптома «Температура» в точке  $A_{NB, B_j}(t)$**

	$R_1(G_2)$	$R_2(G_2)$	$R_3(G_2)$	<i>max</i>
$B_1$	$\mu_{11}(G_2) = 0$	$\mu_{12}(G_2) = 0$	$\mu_{13}(G_2) = 0$	$\mu B_{12}(G_2) = 0$
$B_2$	$\mu_{21}(G_2) = 0$	$\mu_{22}(G_2) = 0.3$	$\mu_{23}(G_2) = 0$	$\mu B_{22}(G_2) = 0.3$
$B_3$	$\mu_{31}(G_2) = 0$	$\mu_{32}(G_2) = 0$	$\mu_{33}(G_2) = 0.4$	$\mu B_{32}(G_2) = 0.4$

Далее рассмотрим терм-множество, описывающее признак «Давление» (см. рис. 2с). Из анализа рисунка 2с можно сделать вывод о том, что для признака «Давление» степень принадлежности к классу  $B_1$  терм-множеств, как: «Нормальное давление» ( $R_1(G_3)$ ), «Повышенное

давление» ( $R_2(G_3)$ ), «Опасное давление» ( $R_3(G_3)$ ) соответственно равны  $\mu_{11}(G_3) = 0.5$ ,  $\mu_{12}(G_3) = 0$ ,  $\mu_{13}(G_3) = 0$ .

Далее, осуществляя операцию S-нормы (3):

$$\mu B_i(G_3) = \max\{\mu_{i1}(G_3), \mu_{i2}(G_3), \mu_{i3}(G_3)\} \quad (3)$$

находят для каждого класса  $B_i$  в точке  $A_3$  максимальные значения степени принадлежности среди всех терм-множеств.

Полученные в соответствии с (3) количественные оценки заносят в таблицу 3.

Таблица 3.

Степени принадлежности терм-множеств симптома «Давление» в точке  $A_{NB, B_j}(t)$

	$R_1(G_3)$	$R_2(G_3)$	$R_3(G_3)$	<i>max</i>
$B_1$	$\mu_{11}(G_3) = 0.5$	$\mu_{12}(G_3) = 0$	$\mu_{13}(G_3) = 0$	$\mu B_{13}(G_3) = 0.5$
$B_2$	$\mu_{21}(G_3) = 0$	$\mu_{22}(G_3) = 0.4$	$\mu_{23}(G_3) = 0$	$\mu B_{23}(G_3) = 0.4$
$B_3$	$\mu_{31}(G_3) = 0$	$\mu_{32}(G_3) = 0$	$\mu_{33}(G_3) = 0$	$\mu B_{33}(G_3) = 0$

В итоге получают множества значений степеней принадлежности для каждого класса диагнозов  $B_i$ , которые являются количественной оценкой степени принадлежности терм-множества признака, входящего в искомый

$$B_i = \{\mu B_{i1}(G_1), \mu B_{i2}(G_2), \mu B_{i3}(G_3)\} \quad (4)$$

Для того чтобы определить степень принадлежности точки  $A_{NB, B_j}(t)$  к  $i$ -тому классу ( $\mu B_i$ ), необходимо выполнить операцию T-

$$\mu B_i = \min\{\mu B_{i1}(G_1), \mu B_{i2}(G_2), \mu B_{i3}(G_3)\} \quad (5)$$

Выполнив операцию T-нормы для всех значений  $i = 1, 2, 3$  с использованием (5), получают следующую совокупность значений  $\mu B_i$ :

$$\begin{aligned} \mu B_1 &= \min\{\mu B_{11}(G_1), \mu B_{12}(G_2), \mu B_{13}(G_3)\} = \min\{0.1, 0, 0.5\} = 0 \\ \mu B_2 &= \min\{\mu B_{21}(G_1), \mu B_{22}(G_2), \mu B_{23}(G_3)\} = \min\{0.7, 0.3, 0.4\} = 0.3 \\ \mu B_3 &= \min\{\mu B_{31}(G_1), \mu B_{32}(G_2), \mu B_{33}(G_3)\} = \min\{0, 0.4, 0\} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Из сопоставительного анализа полученных совокупностей оценок (6) можно найти максимальное значение оценки степени принадлежности  $A_{NB, B_j}(t)$  к искомому классу  $B_i$ . Значение степени принадлежности определяется путем выполнения, с учётом (6), операцию R-нормы:

$$\mu B = \max\{\mu B_1, \mu B_2, \mu B_3\} \quad (7)$$

Из анализа значений, полученных в соответствии с (7) следует, что для рассматриваемого примера текущее состояние пациента  $A_{NB, B_j}(t)$  классифицируется как класс диагнозов (состояний)  $B_2$ , так как оно характеризуется максимальным значением функции принадлежности  $\mu B_2 = 0.3$ . Следует отметить, что в случае неоднозначности, т.е. когда несколько классов диагнозов имеют равную максимальную степень принадлежности, решение о принадлежности не принимается и декларируется отказ от диагностики для данного случая.

класс диагнозов виртуальному образу состояния пациента  $A_{NB, B_j}(t)$  для соответствующего признака.

нормы (5) по полученным значениям относительно каждого класса состояний в соответствии со следующим соотношением:

Таким образом, рассмотрен один из возможных подходов к совершенствованию метода распознавания состояния объектов в ситуации, характеризующейся частичным пересечением  $B_{2i}$  друг с другом в многомерном пространстве признаков. Решение задачи базируется на совместном использовании проективно-геометрического метода распознавания образов и теории нечетких множеств, которая позволяет осуществить количественную оценку степени принадлежности текущего значения каждого из параметров состояния  $G_q(A_2(t))$  к каждому из классов состояний в соответствующей точке, принадлежащей области пересечения  $B_{2i}$ . Предложенное решение можно рассматривать как новый подход к организации поддержки принятия решений, позволяющий автоматизировать мониторинг, оперативный контроль или анализ закономерностей изменения возникающих в сложных системах. Преимуществом предлагаемого подхода, сущность которого заключается в

том, что вначале определяются зоны пересечений классов диагнозов в многомерном пространстве признаков путем использования ранее разработанного метода распознавания, а затем только для этих областей пересечений применяется аппарат теории нечетких множеств, что существенно сокращает время опроса экспертов и нагрузку на каждого из них, а также устраняются многие варианты отказа от диагностики.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд. Тюменского государственного университета, 2000. 352 с.
2. Довгаль В.М, Старков Ф.А., Классификация и распознавание точечных образов с помощью визуализации многомерных объектов// Известия Курского государственного технического университета.2007.№4(21).С.78-80.
3. Способ распознавания состояния сердечно-сосудистой системы по его многомерному образу / В.М. Довгаль, В.М. Никитин, Е.А. Липунова, И.А. Кочеткова // Компьютерные науки и технологии: Вторая международная науч.-технич. конф., (Белгород, 3-5 октября 2011 г. ), Белгород : Изд-во ООО «ГиК», 2011. – С. 193–198.
4. Леденева Т. М., Дубинин А. А. Синтез функций нечетких переменных// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 30–33.
5. Леденева Т. М., НгуенНгок Хуи. О вычислении функции подобия для нечетких чисел// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 35–37.