

*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 .

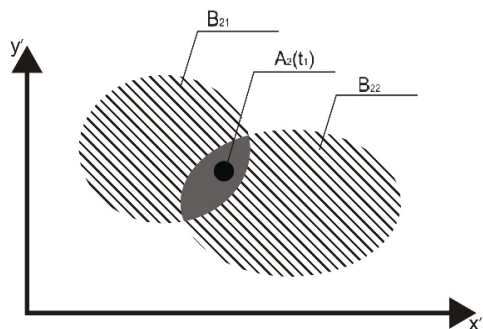


Рис. 1. Топология взаимного положения на плоскости $\{ X', Y' \}$ двух виртуальных двумерных классов диагнозов с фактическим пересечением в многомерном пространстве признаков

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.

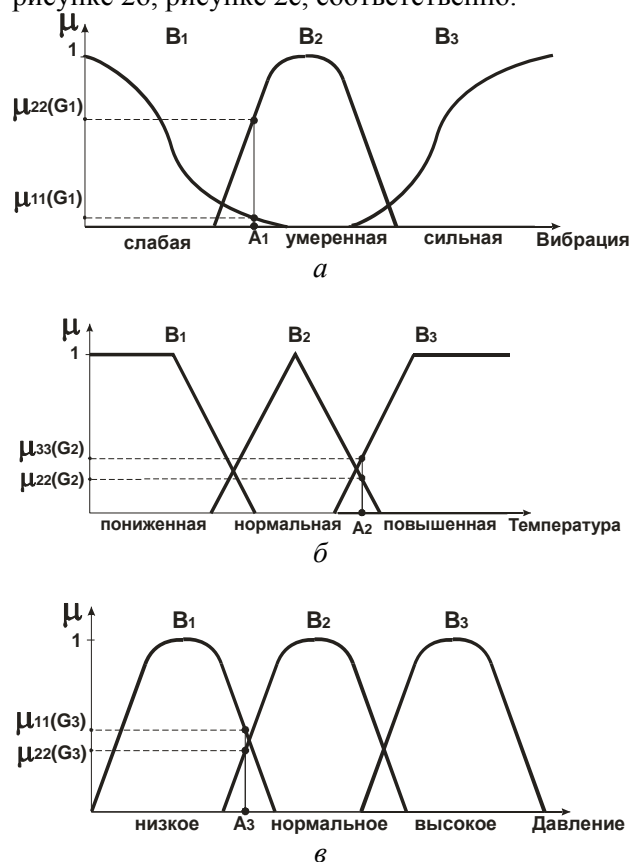


Рис. 2. Лингвистические переменные: а – «Вибрация»; б – «Температура»; в – «Давление»

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 (μB_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 μB_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.