УДК 519.7

Л. А. Лютикова, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом, e-mail: lylarisa@yandex.ru,
Е. В. Шматова, мл. науч. сотр., e-mail: lenavsh@yandex.ru,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Институт прикладной математики и автоматизации" (ИПМА), г. Нальчик

Анализ и синтез алгоритмов распознавания образов с использованием переменно-значной логики

Проводится логический анализ заданной предметной области, представляющей собой объект и описывающие его признаки в терминах переменно-значной логики, анализируется набор алгоритмов, работающих на заданной области. В ходе исследования разработаны логические процедуры построения корректных алгоритмов, анализирующих предметную область, моделирующих базу знаний для заданных объектов, минимизирующих ее и выделяющих уникальный набор признаков для каждого объекта.

Ключевые слова: *алгоритмы, обучающая выборка, набор данных, база знаний, предметная область, переменно-значная логика, дизъюнкты, решающее правило*

Введение

На первом этапе развития теории и практики распознавания образов для решения практических задач возникло большое число методов и алгоритмов, применявшихся без какого-либо обоснования. Такие методы проверялись экспериментально. Решение задач медицинской и технической диагностики, компьютерного прогноза месторождений, а также построение экспертных систем ввело в обиход большое число некорректных (эвристических) алгоритмов. В результате возникла необходимость в развитии теории корректирующих операций, синтеза корректных алгоритмов минимальной сложности и решения вопросов об их устойчивости с помощью математических методов.

Логический подход может служить основой для построения теории синтеза корректных алгоритмов распознавания на базе существующих семейств алгоритмов. Данные методы, несмотря на отсутствие адекватных математических моделей исследуемых зависимостей между образом и его свойствами, неполноту и противоречивость данных, позволяют создавать алгоритмы, реализующие определенные рассуждения эксперта.

Как правило, математическую логику привыкли использовать для оценки истинности высказывания. При решении поставленной задачи используется аппарат математической логики, который представляется уместным исходя из реальных качеств характеризуемых объектов. Поскольку характеризуемый объект имеет ряд признаков, разбитых каждый на свое число состояний, то возможность кодировать каждый признак предикатами разной значности представляется удобным. Конечной целью применения предикатов переменной значности является вывод о принадлежности исследуемых данных какому-либо объекту или классу.

В данной работе рассматривается логический подход к теоретическому обоснованию построения корректных алгоритмов, расширяющих область получаемых решений на базе существующих алгоритмов.

Постановка задачи

Описание объекта представляет собой m-мерный вектор $X = \{x_1, x_2, ..., x_m\}$, где m — число признаков, используемых для характеристики объекта, причем j-я координата этого вектора равна значению j-го признака, $j = 1, ..., m$. В описании объекта допустимо отсутствие информации о значении того или иного признака. Совокупность некоторого числа объектов и их признаков представляет собой выборку, на которой проработало n алгоритмов. Качество работы каждого алгоритма оценивается булевой функцией $a_j(X_i, y_i)$. Ни один из рассматриваемых алгоритмов не распознает все множество заданных объектов. Предлагается логический метод построения нового алгоритма, являющийся корректным на всем множестве распознаваемых объектов, на основе существующих алгоритмов и решающих правил, составленных для исследуемой области.

Формальная постановка задачи

На предметной области, состоящей из объектов и их признаков, рассматривается ряд алгоритмов $A_1, A_2, ..., A_n$ решения задачи распознавания.

Пусть $X = \{x_1, x_2, ..., x_m\}$, значение переменной $x_i \in \{0, 1, ..., k_r - 1\}$, где $k_r \in [2, ..., N]$, $N \in Z$ — множество признаков, рассматриваемых в рамках переменно-значной логической системы; $X_i = \{x_1(y_i), x_2(y_i), ..., x_m(y_i)\}$, $i = 1, ..., l$ — вектор признаков, характеризующих объект $y_i \in Y$, $Y = \{y_1, y_2, ..., y_l\}$ — множество объектов; $A = \{A_1, A_2, ..., A_n\}$ — множество алгоритмов, $a_j(X_i, y_i) \in \{0,1\}$; $i = 1, 2, ..., l$; $j = 1, 2, ..., n$ — качество работы алгоритма на заданном наборе признаков $X_i = \{x_1(y_i), x_2(y_i), ..., x_m(y_i)\}$, $i = 1, 2, ..., l$, определяемое формулой

$$a_j(y_i) = \begin{cases} 1, A_j(X_i) = y_i, \\ 0, A_j(X_i) \neq y_i, \end{cases} \quad i = 1, 2, ..., l, j = 1, 2, ..., n,$$

т. е. результат работы алгоритма на заданном наборе признаков оценивается в рамках булевой алгебры:

1 — алгоритм A_j распознал объект y_i по заданным признакам X_i,

0 — алгоритм A_j не распознал объект y_i по заданным признакам X_i.

Совокупность описанных данных можно представить в виде двумерной матрицы следующего вида:

x_1	x_2	...	x_m	Y	A'_1	A'_2	...	A'_n
$x_1(y_1)$	$x_2(y_1)$	...	$x_m(y_1)$	y_1	$a_1(y_1)$	$a_2(y_1)$	...	$a_n(y_1)$
$x_1(y_2)$	$x_2(y_2)$	...	$x_m(y_2)$	y_2	$a_1(y_2)$	$a_2(y_2)$	...	$a_n(y_2)$
...	...	...	....	...	...	...	...	...
$x_1(y_l)$	$x_2(y_l)$	...	$x_m(y_l)$	y_l	$a_1(y_l)$	$a_2(y_l)$	...	$a_n(y_l)$

$A'_i = \{a_i(y_1), a_i(y_2)), ..., a_i(y_l\}$, $i = 1, 2, ..., n$, — вектор, представленный столбцом значений оценки качества работы алгоритма A_i.

Некоторые из заданных в обучающей выборке объектов не распознаются ни одним из рассматриваемых алгоритмов. Математически это записывается следующим образом:

$$\exists y_i \in Y \mid A_1(X_i) \neq y_i, A_2(X_i) \neq y_i, ..., A_n(X_i) \neq y_i,$$
$$i = 1, 2, ..., l, j = 1, ..., n.$$

Необходимо построить алгоритм на основе заданных, который обеспечит распознавание всех объектов, заданных в данной предметной области. Это значит найти $A_{n+1}(X_i)|A_{n+1}(X_i) = y_i$ и $A_{n+1}(X)|A_{n+1}(X) = Y$.

Определение. Будем говорить, что алгоритм корректен на множестве объектов Y, определяемых совокупностью признаков X, если $\forall y_i \in Y$: $a_j(X_i, y_i) = 1$, $i = 1, 2, ..., l$; $j = 1, ..., n$. Иными словами, алгоритм является корректным на том множестве объектов, которые он правильно распознает.

Для анализа предметной области будем использовать алгебру переменно-значной логики [3, 4], которая дает возможность для выразительного кодирования разнородной информации, так как каждый отдельный признак $x_i \in \{0, 1, ..., k_r - 1\}$ может быть закодирован предикатом любой значности, удобной именно для данного признака.

Аппарат переменно-значной логики является удобным инструментом для простого и выразительного кодирования и декодирования свойств исследуемых объектов. Он позволяет избежать сложности построения процедур фаззификации и дефаззификации, которые необходимы в случае использования нечеткой логики, а также существенно упрощает построение логических конструкций, отражающих соответствие исследуемых объектов и их свойств. В рамках предлагаемого подхода эти логические конструкции выражаются в виде продукционных правил.

Операции переменно-значной логики

Определение. Высказывания переменно-значной логики являются высказываниями, истинность которых определяется следующими значениями: $\{0, 1, ..., k_r - 1\}$, $k_r \in [2, ..., N]$, $N \in Z$, B — формула высказывания, определенная тремя операциями:

- отрицание или обобщенная инверсия (унарная операция);
- & конъюнкция (бинарная);
- дизъюнкция (бинарная).

Используются также константы:

$$0, 1 ... k_r - 1, k_r \in [2, ..., N], N \in Z.$$

Пусть X_i — независимая многозначная переменная величина, $X_i \in [0, ..., k_r - 1]$, являющаяся одной из характеристик объекта. Введем еще несколько функций и свойств переменно-значной логики.

Перечислим функции переменно-значной логики, называемые элементарными.

1. Значение переменной:

$$x_i^j = \begin{cases} j, x_i = j; \\ 0, x_i \neq j. \end{cases}$$

2. Обобщенная инверсия:

$$\overline{x^j} = x^0 \vee x^1 \vee ... \vee x^{j-1} \vee x^{j+1} \vee ... \vee x^{k-1}.$$

Заданная таким образом инверсия обеспечивает включение всех возможных интерпретаций отрицания в различных многозначных логических системах.

3. Пусть переменные $X \in [0, ..., k_i - 1]$, $Y \in [0, ..., k_j - 1]$ имеют разную значность, тогда обобщенная дизъюнкция:

$$X \vee Y = \max\left[\frac{X}{k_i - 1}; \frac{Y}{k_i - 1}\right] l,$$

где $l = \begin{cases} k_i - 1 \text{ при } \dfrac{X}{k_i - 1} > \dfrac{Y}{k_i - 1}; \\ k_j - 1 \text{ иначе.} \end{cases}$

4. Обобщенная конъюнкция:

$$X \,\&\, Y = \min\left[\frac{X}{k_i - 1}; \frac{Y}{k_j - 1}\right] l,$$

где $l = \begin{cases} k_i - 1 \text{ при } \dfrac{X}{k_i - 1} < \dfrac{Y}{k_j - 1}; \\ k_j - 1 \text{ иначе.} \end{cases}$

5. Импликацию для переменно-значной логики зададим следующим выражением:

$$X \to Y = \overline{X} \vee Y.$$

Элементарные функции переменно-значной логики обладают следующими свойствами:

$$0 \,\&\, X = 0;$$
$$1 \,\&\, X = X;$$
$$(k - 1) \vee X = (k - 1);$$
$$0 \vee X = X;$$
$$x^j \,\&\, x^k = \begin{cases} x^j, j = k; \\ 0, j \neq k. \end{cases}$$

Решающие правила и функция качества ответов

Определение. Решающим правилом для заданной предметной области назовем следующее высказывание:

$$\&_{j=1}^{m} x_j(y_i) \to y_i,\ i = 1, ..., l,\ x_j(y_i) \in \{0, 1, ..., k_i - 1\},$$
$$k_i \in [2, ..., N],\ N \in Z.$$

В данном случае решающее правило — это правило продукции, логическая интерпретация которого говорит, что из совокупности определенных признаков (тот и этот и т. д. признаки) следует определенный объект.

Пусть имеется n алгоритмов $\{A_1, A_2, ..., A_n\}$, частично распознающих заданную область. Для каждого заданного набора признаков X_i строим функции качества работы каждого алгоритма и получаем набор векторов $A_j' = \{a_j(y_1), a_j(y_2)), ..., a_j(y_l)\}$, $j = 1, 2, ..., n$, представленный в матрице в виде столбца A_j'. Получаем результат работы алгоритма на каждой заданной строке, соответствующей объекту y_i, этому же объекту соответствует продукционное правило

$$\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i,\ x_s(y_i) \in \{0, 1, ..., k_r - 1\},$$
$$i = 1, ..., l,\ s = 1, ..., m.$$

Полученный столбец можно рассматривать как частично заданную булеву функцию на множестве переменных $\{X, Y\}$.

Построение алгоритма, расширяющего область решений

При обработке данных целесообразным является выбор алгоритма, имеющего следующие свойства: $A_j(X_i) = y_i$, $a_j(X_i, y_i) = 1$. В случае если хотя бы один алгоритм нашел решение вида $A_j(X_i) = y_i$, то $\vee_{j=1}^{n} a_j(y_i) = 1$. Если ни один из рассматриваемых алгоритмов не распознает объект y_i, то $\vee_{j=1}^{n} a_j(y_i) = 0$.

Представим всю обучающую выборку в виде решающих правил:

$$\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i,\ i = 1, ..., l,\ x_s(y_i) \in \{0, 1, ..., k_r - 1\},$$
$$k_r \in [2, ..., N],\ N \in Z.$$

Для каждого алгоритма выберем решающие правила, по которым алгоритмы распознают объекты: если $\exists a_j(y_i) = 1$, то $\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i$, $i = 1, ..., l$, $x_s(y_i) \in \{0, 1, ..., k_r - 1\}$, $k_r \in [2, ..., N]$, $N \in Z$.

Составим функцию, являющуюся конъюнкцией таких решающих правил для данного алгоритма, руководствуясь следующими логическими рассуждениями: алгоритм A_j распознает объект y_i и алгоритм A_j распознает объект y_p и все остальные объекты, распознаваемые этим алгоритмом:

$$F_j(X_i) = \&_{a_{j(y_i)}=1} (\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i) =$$
$$= \&_{a_{j(y_i)}=1} (\vee_{s=1}^{m} \overline{x_s(y_i)} \vee y_i).$$

Далее можно применить алгоритм сокращения в адаптированном для многозначных логик варианте:

- если некоторая переменная входит в ДНФ (дизъюнктивно нормальная форма) с одним знаком во всех дизъюнктах, то удаляем все дизъюнкты, содержащие эту переменную (данная переменная неинформативна);
- если в ДНФ имеется какой-то однолитерный дизъюнкт x_i^j, то удаляем все дизъюнкты вида $x_i^j \,\&$ ... (правило поглощения).

В результате для заданного алгоритма A_j получаем функцию F_j, соответствующую тем решающим правилам, которые распознал заданный алгоритм. Данная функция обладает рядом свойств [2] и практически строит базу знаний данного алгоритма, разбивая область решения на все возможные для данной области классы.

Теорема. Необходимым и достаточным условием, характеризуемым набором признаков $\{X_j\}$ к классу K_r, является равенство $F_j\{X_i\} = K_r$.

Доказательство.

Пусть $F_1(X) = K_r$. Так как $f(X) = f_1(X) \vee f_2(X)$, то и $f(X_j) = K_r$. Функция $f(X)$ однозначно характеризует заданную базу данных (БД). Можно утверждать, что конкретный набор признаков $\{X_j\}$, используя данные, представленные в БД, характеризует класс K_r.

Предположим, что набор признаков $\{X_j\}$ характеризует объект класса K_r и это не противоречит исходным данным, тогда функция $f(X)$ примет значение $f(X_i) = f_1(X_i) \vee f_2(X_i)$, $f(X) = K_r$. Так как $f_2(X_j)$ не содержит дизъюнкты, содержащие классы, то можно утверждать, что $f_1(X) = K_r$.

Построив для каждого алгоритма соответствующие функции F_j, $j = 1, 2, ..., n$, получаем множество функций $F_1, ..., F_n$. Продолжая наши рассуждения, построим обобщающую функцию, являющуюся конъюкцией функций $F_1, ..., F_n$: $F = \&_{i=1}^{n} F_i$. Проведя вычисления и преобразования, получим функцию

$$F(X, Y) = f_1(X) \vee f_2(X, Y),$$

где $f_1(X)$ — функция, содержащая только переменные x_s, и назовем ее функцией настройки, а дизъюнкты этой функции — элементами настройки, которые не имеют значения для идентификации объекта, но имеют значение в случае построения нового алгоритма на ранее нераспознанных объектах; $f_2(X, Y)$ — функция, содержащая конъюнкцию признаков и объектов, являющаяся функцией для определения индивидуальных признаков заданных объектов.

Для построения нового корректного алгоритма на наборах данных, не распознаваемых прежними алгоритмами, достаточно использовать функцию $f_1(X)$. Новый алгоритм является конъюнкцией $f_1(X)$ и решающего правила объекта, не распознанного другими алгоритмами. В результате получаем уникальную характеристику объекта и сочетания его признаков, которые не относятся ни к одному из ранее распознанных объектов:

$$A_{n+1} = f_1(X)\&(\&_{s=1}^{m} x_s^j \to y_j)\vee_{j=1}^{n} A_j.$$

ПРИМЕР 1

Пусть $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ — набор признаков, значение каждого признака кодируется в рамках трехзначной логической системы $x_s \in \{0, 1, 2\}$, $s = 1, 2, 3$. Соотношение входных данных (признаков объектов), самих объектов и результаты работы алгоритмов распознавания данных объектов представлены следующей матрицей:

x_1	x_2	x_3	Y	A_1'	A_2'	A_3'
0	1	1	a	1	0	1
1	2	2	b	0	1	0
0	1	2	c	1	1	0
1	0	0	d	0	0	0

На основе приведенных соотношений можно записать:

$$A_1: F_1 = (x_1^0 \& x_2^1 \& x_3^1 \to a)\&(x_1^0 \& x_2^1 \& x_3^2 \to c)$$

(алгоритм A_1 распознает объекты a и c);

$$A_2: F_2 = (x_1^1 \& x_2^2 \& x_3^2 \to b)\&(x_1^0 \& x_2^1 \& x_3^2 \to c);$$

$$A_3: F_3 = (x_1^0 \& x_2^1 \& x_3^1 \to a);$$

$$F = F_1 \& F_2 \& F_3 = f_1(X) \vee f_2(X, Y);$$

$$f_1(X) = x_1^2 \vee x_2^0 \vee x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 \vee x_1^1 x_3^1 \vee x_2^2 x_3^1;$$

$$f_2(X, Y) = bx_1^1 \vee bx_2^2 \vee ax_3^1 \vee cx_1^0 x_3^2 \vee cx_2^1 x_3^2 \vee$$
$$\vee bcx_3^2 \vee ax_1^0 x_3^1 \vee ax_2^1 x_3^1 \vee ab;$$

$$A_4 = f_1(X)\&(x_1^1 \& x_2^0 \& x_3^0 \to d) =$$
$$= x_1^0 x_2^0 \vee x_2^0 x_3^1 \vee x_2^0 x_3^2 \vee x_1^0 x_3^0 \vee x_2^1 x_3^0 \vee x_2^2 x_3^0 \vee$$
$$\vee x_1^1 x_2^1 \vee x_1^1 x_3^1 \vee x_2^2 x_3^1 \vee dx_2^0 \vee dx_3^0.$$

Алгоритм A_4 выделяет индивидуальные признаки объекта d, а именно значения $x_2 = 0$ и $x_3 = 0$. Алгоритм A_4 в дизъюнкции с ранее заданными алгоритмами дает всю область решения заданной предметной области.

Логический подход к построению корректного алгоритма на заданной предметной области

При добавлении в предыдущую матрицу требования корректности к алгоритму $A_{n+1}(X)$ получим матрицу следующего вида:

x_1	x_2	...	x_m	Y	A_1'	A_2'	...	A_n'	A_{n+1}'
$x_1(y_1)$	$x_2(y_1)$	...	$x_m(y_1)$	y_1	$a_1(y_1)$	$a_2(y_1)$	...	$a_n(y_1)$	1
$x_1(y_2)$	$x_2(y_2)$	...	$x_m(y_2)$	y_2	$a_1(y_2)$	$a_2(y_2)$	...	$a_n(y_2)$	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_1(y_l)$	$x_2(y_l)$	...	$x_m(y_l)$	y_l	$a_1(y_l)$	$a_2(y_l)$	...	$a_n(y_l)$	1

То есть для $A_{n+1}(X)$ все значения $a_{n+1}(y_i) = 1$, $i = 1, 2, ..., l$.

Поскольку $a_j(y_i)$ может быть рассмотрена как булева переменная, то $A'_{n+1}(A'_1, A'_2, ..., A'_n)$ — булева функция, имеющая значения 1 на всех заданных в предметной области наборах (A'_1, A'_2, ..., A'_n), и может быть представлена следующим образом:

$$A'_{n+1}(A'_1, A'_2, ..., A'_n) = \vee_{i=1}^{l} \&_{j=1}^{n} A_j^{\sigma'}(y_i),$$
$$i = 1, 2, ..., l, j = 1, 2, ..., n;$$

$$A_j^{\sigma'}(y_i) = \begin{cases} A'_j,\ a_j(y_i) = 1; \\ \overline{A'_j},\ a_j(y_i) = 0. \end{cases}$$

Будем считать, что A'_j — это совокупность решающих правил, распознаваемых алгоритмом, $\overline{A'_j}$ — совокупность решающих правил, не распознаваемых данным алгоритмом:

$$A'_j = \&_{i=1}^{l}(\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i), \text{ когда } a_j(y_i) = 1;$$

$$\overline{A'_j} = \overline{\&_{i=1}^{l}(\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i)}, \text{ когда } a_j(y_i) = 0.$$

Выразим импликацию и получим следующие выражения:

$$A'_j = \&_{i=1}^{l}(\vee_{s=1}^{m} \overline{x_s(y_i)} \vee y_i), \text{ когда } a_j(y_i) = 1;$$

$$\overline{A'_j} = \&_{i=1}^{l}(\&_{s=1}^{m} x(y_i) \& \overline{y_i}), \text{ когда } a_j(y_i) = 0.$$

Вся исследуемая предметная область может быть представлена в виде решающих правил вида

$$\&_{s=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i,\ i = 1, ..., l,\ x_s(y_i) \in \{0, 1, ..., k_r - 1\},$$
$$k_r \in [2, ..., N],\ N \in Z. \qquad (1)$$

Теорема. Пусть задано множество решающих правил вида

$$\&_{j=1}^{m} x_s(y_i) \to y_i,\ i = 1, ..., l,\ x_j(y_i) \in \{0, 1, ..., k_r - 1\},$$
$$k_r \in [2, ..., N],\ N \in Z,$$

представляющих собой некоторую исследуемую предметную область, тогда на всей исследуемой области

$$A'_{n+1}(A'_1, A'_2, ..., A'_n) = \vee_{i=1}^{l} \&_{j=1}^{n} A_j^{\sigma'}(y_i) = 1,$$
$$i = 1, 2, ..., l, j = 1, 2, ..., n.$$

Доказательство.

Каждый алгоритм входит в предлагаемую дизъюнкцию как A'_j в одну или несколько конъюнкций и как $\overline{A'_j}$ — также в одну или несколько конъюнкций, поскольку в противном случае это либо универсальный алгоритм, для которого все $a_j(y_i) = 1$, $i = 1, 2, ..., l$, либо неработающий алгоритм $a_j(y_i) = 0$, $i = 1, 2, ..., l$. Так как A'_j — это совокупность решающих правил, которые распознаны алгоритмом A_j, а $\overline{A'_j}$ — совокупность решающих правил, которые этим алгоритмом не распознаны, то дизъюнкция этих правил даст описание полной предметной области для каждого алгоритма.

При построении ДНФ

$$A'_{n+1}(A'_1, A'_2, ..., A'_n) = \vee_{i=1}^{l} \&_{j=1}^{n} A_j^{\sigma'}(y_i)$$

может быть сокращена до тупиковой ДНФ известными методами. На стадии, когда на место A'_j будут подставлены решающие правила, можно применить алгоритм сокращения в адаптированном для многозначных логик варианте:

- если некоторая переменная входит в ДНФ с одним знаком во всех дизъюнктах, то удаляем все дизъюнкты, содержащие эту переменную (данная переменная неинформативна);
- если в ДНФ имеется какой-то однолитерный дизъюнкт x_i^j, то применяем правило поглощения дизъюнкта.

В результате для каждого дизъюнкта получим минимизированную базу знаний, соответствующую набору правил, описанных этим дизъюнктом. Такие дизъюнкты обладают рядом свойств [2] и разбивают область решения на все возможные для данной области классы. Объединение этих областей приводит к минимизированной базе знаний для всей заданной области.

ПРИМЕР 2

Пусть $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $x_i \in \{0, 1, 2\}$:

x_1	x_2	x_3	Y	A'_1	A'_2	A'_3	A'_4
0	0	1	a	1	0	1	0
0	2	1	b	0	0	1	1
2	1	2	c	0	1	0	1
1	2	0	d	0	0	0	0

Строим дизъюнкцию по строкам

$$F = A'_{n+1}(A'_1, A'_2, ..., A'_n) = \vee_{i=1}^{l} \&_{j=1}^{n} A_j^{\sigma'}(y_i);$$

$$F = A_1 \& \overline{A_2} \& A_3 \& \overline{A_4} \vee \overline{A_1} \& \overline{A_2} \& A_3 \& A_4 \vee$$
$$\vee \overline{A_1} \& \overline{A_3} \& A_2 \& A_4 \vee \overline{A_1} \& \overline{A_2} \& \overline{A_3} \& \overline{A_4},$$

и далее, записывая алгоритмы решающими правилами и преобразовывая, получим следующее выражение:

$$A_5 = (x_1^0 \& x_2^0 \& x_3^1 \to a) \& (x_1^0 \& x_2^2 \& x_3^1 \to b) \&$$
$$\& (x_1^1 \& x_2^2 \& x_3^0 \to d) =$$
$$= x_1^2 \vee x_3^2 \vee x_2^1 \vee x_1^1 x_2^0 \vee x_1^1 x_3^1 \vee x_1^0 x_3^0 \vee x_2^0 x_3^0 \vee$$
$$\vee x_3^0 d \vee b x_1^0 x_2^2 \vee b x_2^2 x_3^1 \vee b d x_2^2 \vee a x_1^0 x_2^0 \vee$$
$$\vee a x_2^0 \vee a x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 d.$$

Алгоритм A_5 выделяет индивидуальные признаки объекта d.

Заключение

В результате проведенного логического анализа данной предметной области и решающих правил, описывающих объекты, становится понятным, что сложность полученного алгоритма зависит от качества уже заданных алгоритмов и скрытых закономерностей самой предметной области. Предложенный логический метод синтеза позволяет построить корректный алгоритм на всей области данных, моделирует базу знаний, минимизирует ее и фиксирует уникальный для каждого объекта набор признаков.

Список литературы

1. **Журавлев Ю. И.** Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Т. 33. С. 5— 68.
2. **Shibzukhov Z. M.** Correct Aggregation Operations with Algorithms // Pattern Recognition and Image Analysis. 2014. Vol. 24, N. 3, pp. 377—382.
3. **Тимофеев А. В., Лютикова Л. А.** Развитие и применение многозначных логик и сетевых потоков в интеллектуальных системах // Труды СПИИ РАН. Вып. 2. 2005. С. 114—126.
4. **Лютикова Л. А.** Моделирование и минимизация баз знаний в терминах многозначной логики предикатов. Препринт. Нальчик: НИИ ПМА КБНЦ РАН, 2006. 33 с.
5. **Воронцов К. В.** Оптимизационные методы линейной и монотонной коррекции в алгебраическом подходе к проблеме распознавания // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2000. Т. 40, № 1. С. 166—176.
6. **Журавлев Ю. И., Рудаков К. В.** Об алгебраической коррекции процедур обработки (преобразования) информации // Проблемы прикладной математики и информатики. 1987. С. 187—198.

L. A. Lyutikova, Head of Departament, e-mail: lylarisa@yandex.ru, **E. V. Shmatova,** Junior Researcher

Recognition Algorithms Analysis and Synthesis with Varied Values Logic

In this paper we carried out logical analysis of the given specified domain that presents an object the features of which describe it using varied values logic and a set of algorithms running within the given domain is studied. We developed logical procedure for constructing correct algorithms, to research the specified domain, simulate knowledge base for specific objects that minimize it and allocate a unique set of characteristics for each object.

Keywords: *algorithm, training set, a set of data, knowledge base, the subject area, logic of varied values, clauses, the decision rule*

References

1. **Zhuravljov Ju. I.** Ob algebraicheskom podhode k resheniju zadach raspoznavanija ili klassifikacii, *Problemy kibemetiki*, 1978, vol. 33, p. 5—68.
2. **Shibzukhov Z. M.** Correct Aggregation Operations with Algorithms, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2014, vo1. 24, no. 3, pp. 377—382.
3. **Timofeev A. V., Ljutikova L. A.** Razvitie i primenenie mnogoznachnyh logik i setevyh potokov v intellektual'nyh sistemah, *Trudy SPII RAN*. 2005, Iss. 2, pp. 114—126.
4. **Ljutikova L. A.** *Modelirovanie i minimizacija baz znanij v terminah mnogoznachnoj logiki predikatov*. Preprint, Nal'chik: NII PMA KBNC RAN, 2006, 33 p.
5. **Voroncov K. V.** Optimizacionnye metody linejnoj i monotonnoj korrekcii v algebraicheskom podhode к probleme raspoznavanija, *Zhumal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoj fiziki*, 2000, vol. 40, no. 1, pp. 166—176.
6. **Zhuravljov Ju. I., Rudakov K. V.** Ob algebraicheskoj korrekcii procedur obrabotki (preobrazovanija) informacii, *Problemy prikladnoj matematiki i informatiki*, 1987, pp. 187—198.