АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ
ALGORITHMS AND PROGRAM PRODUCTS

УДК 519.95

АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕШЕНИИ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Кабулов А.В., Урунбаев Э., Бабаджанов А.А., Ашуров А.О.

В логических системах распознавания для построения собственно алгоритмов применяются логические методы, основанные на дискретном анализе и базирующемся на нем исчислении высказываний. В общем случае логический метод распознавания предусматривает наличие связей, выраженных через систему булевых уравнений, в которой переменными являются логические признаки распознаваемых объектов или явлений.

Логические признаки распознаваемых объектов можно рассматривать как элементарные высказывания, принимающие два значения истинности: истина и ложь.

К логическим прежде всего относятся признаки, не имеющие количественного выражения. Эти признаки представляют собой суждения качественного характера (наличие или отсутствие некоторых свойств или некоторых элементов у распознаваемых объектов или явлений). Логическими признаками, например, в медицинской диагностике, могут быть следующие симптомы: боль в горле, кашель, насморк. Тип двигателя у распознаваемого самолета - реактивный, турбовинтовой или поршневой - также можно рассматривать в качестве логического признака. В геологии логическими признаками могут быть растворимость или нерастворимость в определенных кислотах или в некоторых смесях кислот, наличие или отсутствие запаха, цвета.

К числу логических можно отнести также признаки, которые имеют количественное выражение, однако при этом важна (и учитывается) не сама по себе величина признака у распознаваемого объекта, а лишь факт попадания или непопадания ее в заданный интервал. На практике логические признаки подобного рода имеют место в таких ситуациях, когда ошибками измерений либо можно пренебречь, либо интервалы значений признаков выбраны таким образом, что ошибки измерений практически не оказывают влияния на достоверность принимаемых решений относительно попадания измеряемой величины в заданный интервал.

Новой областью приложения методов алгебры логики, обозначившейся в последнее время, является проблема распознавания множества объектов и явлений, которая может быть сведена к решению систем логических уравнений.

В настоящей статье описаны основные принципы решения систем логических уравнений и строятся алгоритмы получения решений максимальных совместных подсистем булевых уравнений.

Ключевые слова: алгоритмы распознавания, распознавание объектов, системы логических уравнений, дискретный анализ, логические признаки, булевы алгебраические уравнения, методы алгебры логики.

Мантиқий тимсолларни аниқлаш тизимлари учун тимсолларни аниқлаш алгоритмларини яратишда дискрет тахлилга ва мулохазаларни хисоблашга асосланган мантиқий усуллардан фойдаланилади. Умумий холатда мантиқий тимсолларни аниқлаш усуллари аниқланувчи объектлар ёки ходисаларнинг мантиқий белгилари ўзгарувчи сифатида қатнашадиган бул тенгламалар системаси орқали кўрсатиладиган мантиқий боғлиқликни назарда тутади.

Аниқланувчи объектлар мантиқий белгиларини иккита рост ёки ёлғон қиймат қабул қилувчи содда мулохаза сифатида қараш мумкин.

Мантиқий белгиларга биринчи навбатда сон жихатдан қийматга эга бўлмаган белгилар киради. Бу турдаги белгиларга сифат нуқтаи назаридан қараш мумкин (аниқланувчи объектлар ва ҳодисаларда баъзи бир хусусиятлар ёки баъзи бир элементларнинг мавжуд ёки мавжуд эмаслиги).

Мантиқий белгилар мисол учун тиббиёт диагностикасида қуйидаги аломатлар бўлиши мумкин: томоқ оғриғи, йўтал ва ҳ.к.з. Самолёт двигателини аниқлашда унининг тури турбинали, реактив ёки поршенли бўлишини хам мантиқий белгилар сифатида қараш мумкин. Геология сохасида кислоталар ёки уларнинг жамланмасидаги арлашувчанлик ёки аралашмаслик, хидланиш мавжудлиги, ранги ва шунга ўхшаш хусусиятларни мантиқий белгилар сифатида олиш мумкин.

Бундан ташқари мантиқий белгиларга микдор жихатдан қийматга эга бўлган белгиларни хам киритиш мумкин, бироқ бунда аниқланувчи объект белгисининг шунчаки микдори эмас, балки унинг ушбу микдорнинг берилган интервалга тушиш ёки тушмамаслигига эътибор қаратилади ва хисобга олинади. Амалда хисоблаш хатоликларига бепарволик билан қараш мумкин бўлган ёки хисоблаш хатоликлари ўлчанувчи катталикнинг берилган интервалга тушишига таъсир қилмайдиган қарор қабул қилиш холатларида сифат белгилари ахамиятга бўлади.

Мазкур мақолада мантиқий тенгламаларни ечиш усуллари келтириб ўтилган ва максимал ўзаро мос тизимости бул тенгламалари ечиш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Таянч иборалар: тимсолларни аниқлаш алгоритмлари, тимсолларни аниқлаш, мантиций тенгламалар тизими, дискрет тахлил, мантиқий белгилар, бул алгебраик тенгламалар, мантиқий алгебра усуллари.

Abstract. In logical recognition systems, logical methods are used to construct the actual recognition algorithms based on discrete analysis and the calculus of statements based on it. In the general case, the logical method of recognition provides for the presence of logical connections expressed through a system of Boolean equations, in which the variables are the logical signs of recognizable objects or phenomena.

The logical signs of recognizable objects can be considered as elementary statements that take two values of truth: truth and false.

The logical first of all are the signs that do not have a quantitative expression. These signs are judgments of a qualitative nature (the presence or absence of certain properties or certain elements in recognizable objects or phenomena). The following symptoms may be logical signs, for example, in medical diagnostics: sore throat, cough, runny nose, etc. The type of engine in a recognizable aircraft - jet, turboprop or piston - can also be considered as a logical feature. In geology, the solubility or insolubility in certain acids or in some mixtures of acids, the presence or absence of odor, color, etc., can be logical signs.

Signs that have a quantitative expression can also be attributed to the logical ones, however, it is not the value of the sign of the object being recognized that is important (and taken into account), but only the fact of its falling or falling into a given interval. In practice, logical signs of this kind occur in such situations when measurement errors can either be neglected or intervals of characteristic values are chosen in such a way that measurement errors have practically no effect on the reliability of the decisions made regarding the measured value falling into a given interval.

A new area of application of the methods of algebra of logic, which has recently been designated, is the problem of recognizing a set of objects and phenomena, which can be reduced to solving systems of logical equations. This article describes the basic principles for solving systems of logical equations and builds algorithms for obtaining solutions of maximal joint subsystems of Boolean equations.

Keywords: recognition algorithms, object recognition, systems of logical equations, discrete analysis, logical signs, Boolean algebraic equations, methods of logic algebra.

I. ВВЕДЕНИЕ

При построении алгоритмов для решения задач распознавания используются логические методы, где существенны не только количественные соотношения между величинами, характеризующими рассматриваемые процессы, но и связывающие их логические зависимости. Алгоритмы распознавания объектов, основанные на логических методах, разработаны Ю.И.Журавлевым [1].

Для программной реализации конкретного алгоритма воспользуемся формулой, полученной в работе [2]:

$$A = \left(\sum_{i=1}^{l} \sum_{S^t \in K_j} B\left(S^t\right) C\left(C_1, C_2\right) \right). \quad (1)$$

Оператор B является суммой q операторов из модели вычисления оценок, описываемой набором ε_{nv}, ρ_{nv} числовых параметров.

Методы алгебры логики могут применяться для установления различных совокупностей признаков распознаваемого объекта, учет которых, наряду с уже известными, приводил бы к определенному заключению о типе объекта. Единственным условием построения конкретного алгоритма является согласованность обучающей и контрольной выборок. Алгоритм проводит классификацию, основанную на анализе структуры данных, их важности для целей классификации является проблема распознавания множества объектов и явлений, которая может быть сведена к решению систем логических уравнений. В настоящей работе рассматривается метод решения систем логических уравнений и строится алгоритм получения максимальных совместных подсистем систем булевых уравнений.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи. Применение логических методов распознавания предусматривает наличие логических связей, выраженных через систему булевых уравнений, в которой переменные – логические признаки распознаваемых объектов, а неизвестные величины пороги функции близости ε_{uv} для распознающего алгоритма. Информация представлена в виде таблицы обучения. Задача состоит в следующем. Надо найти такие ε_{iK}, чтобы каждая пара $\left(S^u, S^v\right)$ хоть один раз разделялась. Решение этой задачи может быть сведено к нахождению булевых алгебраических уравнений

$$\varepsilon_{i_1K_1}^{1} \cdot \varepsilon_{i_2K_2}^{2} \cdot \ldots \varepsilon_{i_pK_p}^{r_1} \vee \varepsilon_{i_2K_2}^{1} \cdot \ldots \varepsilon_{i_2K_2}^{r_2} \vee \ldots = 1. \quad (2)$$

Для сохранение формы логической связи в записанном виде введем ограничение для каждой группы логических слагаемых $\left(i_1, K_1\right)$ $\left(i_2, K_2\right)$: только одна логическая переменная ε_{iK} принимает значение, равное 1, а остальное – 0.

Если такие алгебраические уравнения с введенными ограничениями на булевые переменные запишем для всех объектов из контрольной выборки, то получим систему булевых алгебраических уравнений:

$$
\begin{gathered}
\varepsilon_{i_1K_1}^{-1}\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{-2}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{r}\vee\varepsilon_{i_1K_1}^{1}\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{-2}\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{3}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{r}\vee\ldots\vee\varepsilon_{i_1K}^{1}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{nK_1}^{r-1}\cdot\varepsilon_{i_1K}^{-r}=1;\\
\varepsilon_{i_1K_1}^{-1}\cdot\varepsilon_{i_2K_2}^{2}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{r}\vee\varepsilon_{i_2K_2}^{1}\cdot\varepsilon_{i_2K_2}^{-2}\cdot\varepsilon_{i_2K_2}^{3}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_2K_2}^{r}\vee\ldots\vee\varepsilon_{i_2K_2}^{1}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_1K_2}^{r-1}\cdot\varepsilon_{i_1K_1}^{-r}=1;\quad(3)\\
\varepsilon_{i_nK_n}^{-1}\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{2}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{r}\vee\varepsilon_{i_nK_n}^{1}\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{-2}\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{3}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{r}\vee\ldots\vee\varepsilon_{i_nK_n}^{1}\cdot\ldots\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{r-1}\cdot\varepsilon_{i_nK_n}^{-r}=1.
\end{gathered}
$$

Решение данной системы дает набор $\hat{\varepsilon}$, разделяющий все пары контрольной выборки.

Система булевых уравнений необходима для того, чтобы сохранить основную конструкцию численного метода синтеза конкретного алгоритма, в котором любая пара контрольных объектов $\left(S^u, S^v\right)$ разделяются на одну пару, что позволяет полностью реализовать на ЭВМ метод определения значений параметров функции близости для распознающего алгоритма [3, 4].

Методы решения. Задача решается двумя методами [5, 6]. При больших N используется метод сокращенного базиса, в противном случае – метод изображающих чисел.

Алгоритмы решения метода изображающих чисел состоит из следующих этапов:

1. Строим таблицу из двоичных чисел $\{0,1\}$, которая является базисом, в строки этой таблицы изображающими числами $(\# x_i)$.
2. Вычисляем систему изображающих чисел f, где $\# f$ набор $\left(\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_{2^n}\right)$ всех разрядов β_i, для которых $f(\alpha_i)=\beta_i$.
3. Находим несовместные уравнения, т.е. максимально совместную подсистему.
4. Определяем разрядность α_K максимальной совместной подсистемы изображающих чисел функции f из тождества

$$\# f_1(\alpha_K)=\# f_2(\alpha_K)=\ldots=\# f_l(\alpha_K)=1, \tag{4}$$

где,

l – длина максимально совместной подсистемы,

K – номер разрядности изображающих чисел.

5. Номер разрядности переводим в двоичную форму.
6. Записываем решение в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ).
7. Конец работы алгоритма.

Особенность алгоритма в том, что работа его производится поэтапно, так как набор всех разрядов изображающих чисел аргумента x_i и функции f быстро растет с ростом числа переменных.

Метод сокращенного базиса [6].

1. Строим таблицу $TT(I)$, $i=\overline{1,m}$ в базисе $\{0,1,2\}$ функции системы.
2. Умножаем функции $f_1 \wedge f_2 \wedge ... \wedge f_m$, т.е. сравниваем таблицы $[TT_1, TT_2, ..., TT_m]$.
3. Находим зависимые уравнения, имеющие одинаковые решения и исключаем их из системы.
4. Находим несовместные уравнения, не имеющие общего решения и исключаем их из системы.
5. Приводим в тупиковую таблицу TT.
6. Переходим из таблицы TT к $ДНФ$.
7. Записываем решение в базисе $\{0,1,2\}$ и произвольной $ДНФ$.
8. Конец работы алгоритма.

Описание программы. Рассмотрим программы $RLSV-1$ и $RLSV-2$, функциональные блок-схемы которые изображены на рисунке 1 и 2. Программы состоят из управляющих блоков и вспомогательных процедур.

Программа $RLSV-1$ из четырех процедур.

Процедура $IZOBR$ предназначена для образования изображающих чисел аргумента x_i, $i=\overline{1,n}$ функции f_j $\left(j=\overline{1,m}\right)$.

Обращение к ней имеет вид

$$IZOBR(N, B1),$$

где,

$N-$ число переменных функции;

$B1-$ массив начала генерации на внутренней процедуре NR.

Процедура NR предназначена для генерации наборов $N1$, координаты которых принимают значения из множества $\{0,1\}$.

Обращение к ней имеет вид:

$$NR(G, G1, N1, M1, H),$$

где,

$G-$ начальный параметр цикла,

$G1-$ шаг генерации,

$N1-$ длина генерации,

$M1-$ конечная граница генерации,

$H-$ входной и выходной массивы для начала генерации и результата.

Процедура $WHCY$ предназначена для определения и вывода на печать номера несовместных уравнений. Обращение к ней следующее:

$$WHCY(I, M, LL, L, S, L3),$$

где,

$I-$ номер уравнений,

$M5, S-$ проверяющие параметры,

$LL, L, L3-$ входные вспомогательные процедуры.

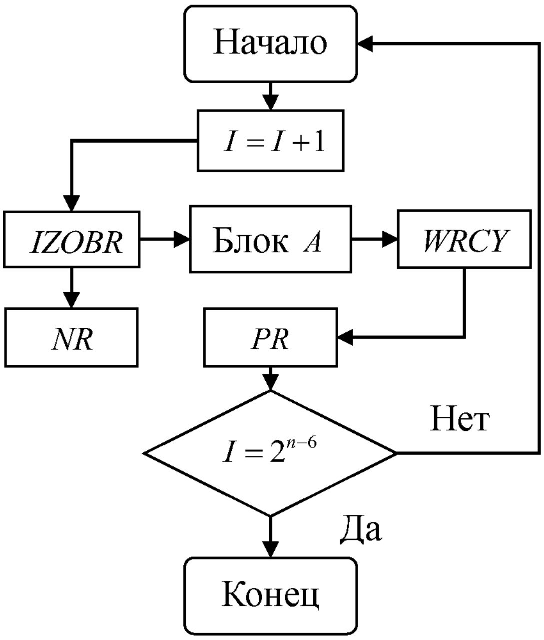

Рисунок 1

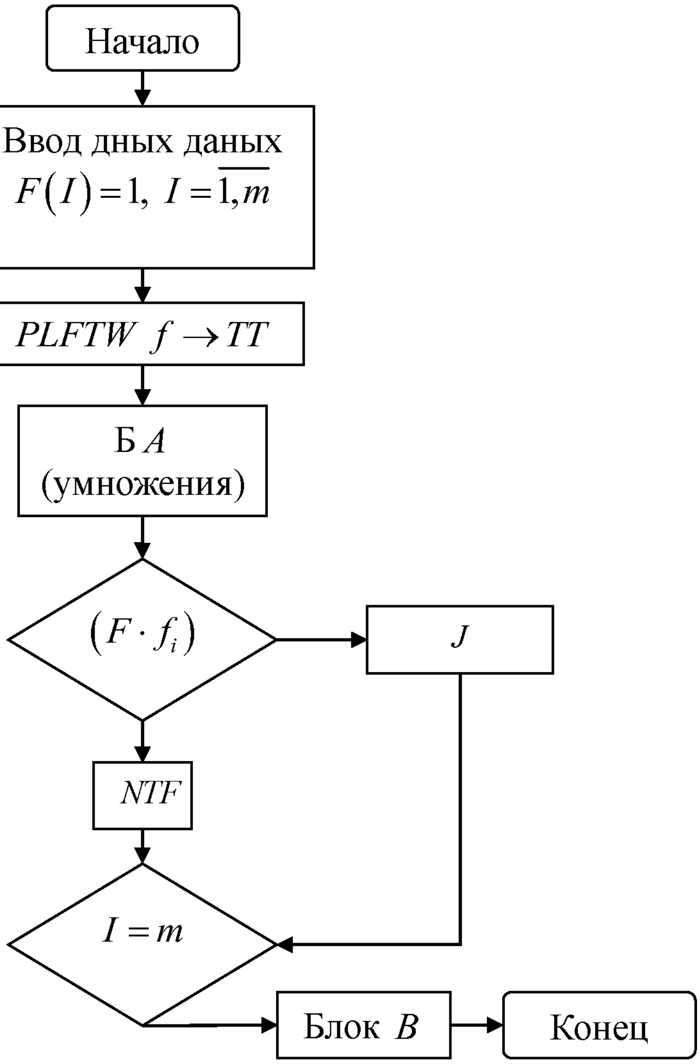

Рисунок 2

Процедура PR предназначена для определения номера единичных разрядов из произведения совместных изображающих чисел функции $f_i \left(i-\overline{1,K}\right)$; $K \leq m$ и перевода номера разряда из десятичного числа в двоичное. Обращение к ней имеет вид

$$PR(R, J),$$

где,

$R-$ произведение совместных изображающих чисел функций,

$J-$ номер повторения программы.

Блок A предназначен для организации последовательных операций программы по частям:

- умножение изображающих чисел,
- управления вспомогательными процедурами.

Программа $RLSV-2$ из двух процедур.

Процедура $PLFTW$ предназначена для построения сокращенного базиса в виде матриц. Обращение к ней следующее:

$$PLFTW\left(A,FP,J,N,NN\right),$$

где,

$A-$ выходной массив $\left(A[I,J],\ I=\overline{1,N};\ J=\overline{1,N}\right)$ сокращенного базиса,

$FP-$ исходная функция в виде $ДНФ$,

$J-$ номер уравнения,

$N-$число переменных функции,

$NN-$ число элементарных конъюнкций данного уравнения.

Процедура NTF предназначена для построения тупиковой $ДНФ$ данной таблице в базисе $\{0,1,2\}$. Обращение к ней имеет вид:

$$NTF\left(N1,NN1,A\right),$$

где,

$N1-$ число переменных функции;

$NN1-$ число элементарных конъюнкций;

$A-$ входной массив $\left(A[I,J],\ I=\overline{1,N1};\ J=\overline{1,NN}\right)$, реализующий $ДНФ$.

Блок A предназначен для умножения двух функций, блок $B-$ для перехода с сокращенного базиса к $ДНФ$ и вывода решений совместных логических уравнений.

Инструкция к программам. Описываемые программы работают самостоятельно. Программа $RLSV-1$ решает системы булевых уравнений для 10 переменных с разным количеством элементарных конъюнкций.

Информация для расчета: $N-$ число переменных, $M-$ количество уравнений. Решаемая система логических уравнений $Z\left(I\right),\ I=\overline{1,M}$ вводится аналитическом виде подпрограмму *IZOBR*.

В результате реализации программы на печать выдаются:

- номера несовместных уравнений I;
- решение совместных подсистем в виде двоичных наборов C и $ДНФ$.

Программа $RLSV-2$ решает системы булевых уравнений до 30 переменных, заданных в виде $ДНФ$ с одинаковым количеством элементарных конъюнкций. Информация для решения задач следующая:

$M-$ количество уравнений;

$NN2-$ число переменных;

$N2-$ количество элементарных конъюнкций;

$FF(I,J)$, $\left(I=\overline{1,M};\ J=\overline{1,N2}\right)$ – система булевых уравнений.

Вводится с исходных хранилищ. Результаты получаются в виде сокращенного базиса и $ДНФ\ \ F$.

Тестовый пример. В качестве примера для программы $RLSY-1$ рассмотрена система логических уравнений, заданная в виде $ДНФ$:

$$Z(1)=\neg x(1)\vee\neg x(2)\vee x(3);$$
$$Z(2)=x(1)\vee x(2)\vee\neg x(4);$$
$$Z(3)=\neg x(1)\vee x(2)\vee x(3);$$
$$Z(4)=x(2)\vee\neg x(3)\vee x(4);$$
$$Z(5)=\neg x(2)\vee\neg x(4);$$
$$Z(6)=x(1)\vee x(3)\vee x(4);$$
$$Z(7)=\neg x(1)\vee\neg x(3)\vee x(4);$$
$$Z(8)=x(2)\vee x(3)\vee\neg x(4);$$
$$M=8;$$
$$N=4.$$

В результате работы программы $RLSY-1$ получены:

$I=\{5\}$ – номера несовместных уравнений:

$C=\{0111,1111\}$ – решения совместных подсистем в двоичном коде;

$F=\neg x(1)\,\&\,x(2)\,\&\,x(3)\,\&\,x(4)\vee x(1)x(2)x(3)x(4)=x(2)x(3)x(4)$ – решение совместных подсистем в виде $ДНФ$.

Для программы $RLSY-2$ рассмотрена следующая система булевых уравнений:

$$FF(1)=x(1)\,\&\,\neg x(3)\,\&\,x(15)\,\&\,\neg x(20)\vee x(10)\,\&\,x(15)x(21)\,\&\,x(25)\vee x(7);$$
$$FF(2)=\neg x(1)\,\&\,x(7)\,\&\,\neg x(15)\vee x(3)\,\&\,x(17)\,\&\,\neg x(25)\vee\neg x(15)\,\&\,x(20);$$
$$FF(3)=\neg x(7)\,\&\,\neg x(10)\vee x(5)\,\&\,\neg x(7)\,\&\,x(20)\vee x(1)\,\&\,x(23);$$
$$FF(4)=x(5)\,\&\,\neg x(8)\,\&\,x(11)\vee x(17)\,\&\,x(25)\vee\neg x(1)\,\&\,\neg x(20);$$
$$FF(5)=x(2)\,\&\,\neg x(7)\vee x(3)\,\&\,x(15)\neg\,\&\,x(25)\vee x(14)\,\&\,\neg x(20)\,\&\,\neg x(24);$$
$$M=5;\ NN2=25;\ N2=3.$$

В результате работы программы $RLSY-2$ получено решение системы в виде сокращенного базиса C и $ДНФ\ \ F$, где

$$C = \begin{Bmatrix} 1212121022122212122222120 \\ 1222121022122122122022100 \end{Bmatrix},$$

$$F = x(1)\,\&\,x(3)\,\&\,x(5)\,\&\,x(7)\,\&\,\urcorner x(8)\,\&\,x(11)\,\&$$
$$\&x(15)\,\&\,x(17)\,\&\,x(23)\,\&\,\urcorner x(25) \vee x(1)\,\&\,x(5)\,\&$$
$$\&x(7)\,\&\,\urcorner x(8)\,\&\,x(11)\,\&\,x(14)\,\&\,x(17)\,\&\,\urcorner x(20)\,\&$$
$$\&x(23)\,\&\,\urcorner x(24)\,\&\,\urcorner x(25).$$

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе разработаны метод, алгоритм и программа решения систем логических уравнений и построен алгоритм получения максимальных совместных подсистем систем булевых уравнений. Предложено применение логических методов распознавания, которое предусматривает наличие логических связей, выраженных через систему булевых уравнений, где переменные – логические признаки распознаваемых объектов, а неизвестные величины пороги функции близости.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kabulov V.K., Kabulov A.V. and Normatov I.H. 2018 Monograph: LAP Lambert RU Academic Publishing 191.

[2] Kabulov V.К., Kabulov A.V. and Normatov I.H. 2017 Monograph: Tashkent-, Ed. “Navruz” 176.

[3] Бузурханов В. Алгоритмизация построения структурных данных// Вопросы вычисл. и прикл. матемематики, Ташкент, 1975. вып. 31, с.15-21.

[4] Бузурханов В. Концепции создания металингвистической алгоритмической системы// Вопросы выч. и прикл. математики. Ташкент, 1987. вып. 83, с.4-11.

[5] Бузурханов В., Гулямов Ш.Б. Вопросы обработки символьной информации в системе паскаль-монитор// Алгоритмы. Ташкент, 1985, вып.56, с.94-102.

[6] Горелик А.Л.Скрипкин В.А. Методы распознавания. М., «Высшая школа», 1977, 240с.

[7] Журавлев Ю.И. Об алгоритмическом подходе к решению задач распознавания и классификации. Сб. «Проблемы кибернетики», вып.33, М., «Наука», 1976.

[8] Журавлев Ю.И., Никифоров В.В., Алгоритмы распознавания, основанные на вычислении оценок//«Кибернетика», Киев,1971,№ 3.
[9] Кабулов А.В., Байжуманов А. Логические методы решения систем булевых уравнений//«Вопросы кибернетики». Вып.109, Ташкент, 1980, с.28-31.
[10] Кабулов А.В., Картавцев Г.И. Некоторые вопросы алгоритмизации процессов управления агрегативными системами// Известия АН УзССР, 1987, ЛИ, с.3-6.
[11] Кабулов А.В., Локальные алгоритмы над схемами С.В.Яблонского// ГОМ и МФ, 1977, т.17, №1, с.217-225.
[12] Кабулов В.К. Алгоритмическое направление в кибернетике. Междунар. ежегодник «Будущее науки». Вып.10. М.: Знание, 1977.
[13] Кабулов В.К. Доказательство теорем в импликативной форме// Вопросы кибернетики. Вып.136. Ташкент, 1988.
[14] Кабулов В.К. Логика высказываний и методы доказательства теорем//Вопросы вычисл. и прикл. математики. Вып. 81. Ташкент, 1987.
[15] Касымов Н.Х. Алгебраическое описание рекурсивно перечислимых типов данных//Вычислительные системы. 1984. Вып.101. С.130-140.
[16] Лавров И. А. Логика и алгоритмы// Новосибирск: Наука, 1970, 256с.
[17] Ландау Э. Основы анализа// М.: ИЛ, 1947, 320с.
[18] Ледли Р.С. Программирование и использование цифрых вычислительных машин. Пер. с англ. М., Мир,1966, 450с.
[19] Назиров Ш.А. Фреймоподобные структуры алгоритмических банков и их программные приставления // Вопросы вычислительной и прикладной математики. Ташкент, изд. ИК АН РУз, 2001. Вып.109. С.64-89.
[20] Нурлыбаев А.О. О нормальных формах к-значной логики. Сборник работ по математической кибернетике. Вып. 5. М., 1976.
[21] Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984, 430с.
[22] Тиегу Э.Х. Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984, 450с.