

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ**

**Аннотация.** Рассмотрен алгоритм классификации объектов по критерию максимума дискриминантных функций, особенностью которого является параллельная обработка по столбцам матрицы, составленной из элементов дискриминантных функций. Приведено представление данного алгоритма в терминах системы алгоритмических алгебр В.М. Глушкова.

**Ключевые слова:** классификация объектов, система алгоритмических алгебр В.М. Глушкова, обработка по разностным срезам, дискриминантная функция.

**ВВЕДЕНИЕ**

В ряде фундаментальных работ достаточно подробно описаны не только базовые положения систем алгоритмических алгебр (САА) В.М. Глушкова [1–5], но и теоретические основы формирования их разновидностей и клонов [6–11]. Кроме того, в последних публикациях предложены варианты использования базиса САА В.М. Глушкова для представления конкретных алгоритмов обработки информации. Эти публикации продолжают цикл работ, связанных с сортировкой массивов данных [10, 12–15], и с другими видами мультиобработки, например с мультиобработкой векторных массивов данных по разностным срезам (РС) [16]. При этом в [17] в базисе модифицированной САА В.М. Глушкова представлены варианты многооперандного суммирования (свертки) элементов векторного массива по РС, а также в качестве расширения такой обработки — варианты пороговой обработки векторного массива по РС для реализации модели порогового нейрона [18, 19].

В настоящей статье на базе РС предложен алгоритм классификации объектов, предполагающий параллельную обработку элементов матрицы взвешенных компонентов входного вектора признаков, что расширяет функциональные возможности процесса классификации за счет формирования одновременно с вектором классификации вектора рангов дискриминантных функций [20]. Представлен усовершенствованный алгоритм классификации объектов в терминах САА В.М. Глушкова.

Целью работы является раскрытие функциональных возможностей компактного описания в терминах САА В.М. Глушкова алгоритма классификации объектов на базе РС.

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ПО РС ЭЛЕМЕНТОВ ДИСКРИМИНАНТНЫХ ФУНКЦИЙ**

Дискриминантные функции (ДФ) представляют собой разделяющие функции между областями (конфигурациями) классов в пространстве признаков объектов (образов) при их классификации [21]. По признаку максимума одной из  $m$  ДФ, где  $m$  — количество классов, определяется принадлежность распознаваемого образа, представленного входным вектором признаков, к конкретному классу [22].

Таким образом, если сформированы  $m$  ДФ вида

$$\begin{cases} g_1(X) = w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \dots + w_{1n}x_n, \\ g_m(X) = w_{m1}x_1 + w_{m2}x_2 + \dots + w_{mn}x_n, \end{cases} \quad (1)$$

т.е.

$$g_i(X) = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j, \quad (2)$$

где  $x_j$  —  $j$ -я компонента входного вектора  $X$  признаков образа,  $w_{ij}$  — вес вхождения  $j$ -й компоненты в  $i$ -й класс  $C_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , то решающее правило классификации по критерию максимума ДФ имеет вид [22, 23]

$$X \in C_k, \text{ если } g_k(X) = \max_i g_i(X), \quad k = \overline{1, m}.$$

В работе [20] предложено не формировать все  $m$  ДФ вида (1) с последующим определением максимальной среди них, а сформировать матрицу  $\mathbf{A}^\circ$  из элементов (слагаемых)  $m$  ДФ (1) с дальнейшей их обработкой параллельно по столбцам, поскольку они состоят из одноименных элементов-слагаемых ДФ (1). Такая параллельная обработка по столбцам матрицы  $\mathbf{A}^\circ$  правомочна, поскольку любой сумме вида (2) присущи свойства коммутативности и ассоциативности [24]. Таким образом, определить максимальную из  $m$  сумм вида (1) можно в процессе одновременного их уменьшения на величину общей составляющей, которую формируют минимальные элементы в каждом столбце обрабатываемой в данный момент матрицы  $\mathbf{A}^t$  в  $t$ -м цикле обработки, где  $t = \overline{1, N}$ . При этом в процессе последовательного обнуления соответствующих строк исходной матрицы  $\mathbf{A}^\circ$  можно определить ранги ДФ, начиная с первой до  $m$ -й.

В результате алгоритм классификации объектов по такому принципу обработки элементов ДФ представляется следующим образом. Исходными данными являются: вектор входных сигналов  $X = \{x_j\}$ ; матрица весов  $W = \{w_{ij}\}$ ; вектор классификации  $P = \{p_i\}$ ; классы  $C = \{C_i\}$ , где  $j$  — размерность вектора  $X$   $\{j = \overline{1, N}\}$ ,  $i$  — количество классов  $C$   $\{i = \overline{1, m}\}$ .

**Шаг 1.** Формирование матрицы  $\mathbf{A}^\circ$  взвешенных входных сигналов  $x_j$  вида

$$\mathbf{A}^\circ = \begin{vmatrix} a_{11}^\circ & a_{12}^\circ & \dots & a_{1n}^\circ \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^\circ & a_{m2}^\circ & \dots & a_{mn}^\circ \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1^\circ \\ \dots \\ A_m^\circ \end{vmatrix}, \quad (3)$$

причем эти входные сигналы как элементы  $a_{ij}^\circ$  матрицы  $\mathbf{A}^\circ$  вычисляются  $a_{ij}^\circ = w_{ij} \cdot x_j$ ; присвоение единичного значения всем элементам  $p_i$  вектора классификации  $P$ , т.е.  $P = (11\dots 1)^T$ .

**Шаг 2.** Выделение минимальных элементов  $q_j^t$  одновременно во всех столбцах обрабатываемой в данный момент матрицы  $\mathbf{A}^{t-1}$  вида

$$q_j^t = \min_i \{a_{ij}^{t-1}\}, \quad t = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где  $N$  — количество циклов классификации.

**Шаг 3.** Вычисление разностных срезов  $\bar{a}_j^t$  одновременно во всех столбцах обрабатываемой в данный момент матрицы  $\mathbf{A}^{t-1}$  и формирование неупорядоченной матрицы  $\bar{\mathbf{A}}^t$  следующим образом:

$$\overline{\mathbf{A}}^t = \begin{vmatrix} \overline{a}_{11}^t & \overline{a}_{12}^t & \dots & \overline{a}_{1n}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{a}_{m1}^t & \overline{a}_{m2}^t & \dots & \overline{a}_{mn}^t \end{vmatrix}, \quad (5)$$

причем

$$\overline{a}_{ij}^t = a_{ij}^{t-1} - q_j^t, \quad j = \overline{1, N}; \quad (6)$$

проверка условия равенства нулю хотя бы одной из строк неупорядоченной матрицы  $\overline{\mathbf{A}}^t$  вида

$$\exists \overline{A}_k^t = 0, \quad k = \overline{1, m}, \quad (7)$$

а также условия равенства нулю всех строк неупорядоченной матрицы  $\overline{\mathbf{A}}^t$  вида

$$\forall \overline{A}_i^t = 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Если выполняется условие (7), то переходим к шагу 4, а если (8), — то к шагу 5.

**Шаг 4.** Продвижение с обменом (транспозиция) вправо к крайним столбцам нулевых элементов  $\overline{a}_{ij}^t$  в каждой строке неупорядоченной матрицы  $\overline{\mathbf{A}}^t$  (5) и формирование упорядоченной матрицы  $\mathbf{A}^t$  следующим образом:

$$A_i^t = \overline{Tr}_2(\overline{A}_i^t), \quad i = \overline{1, m}; \quad (9)$$

одновременное обнуление  $k$ -го элемента  $p_k$  вектора  $P$ , соответствующего обнуленной строке  $\overline{A}_k^t$  (7); маскирование всех нулевых элементов  $a_{kj}^t$   $k$ -й обнуленной строки упорядоченной матрицы  $\mathbf{A}^t$  и переход к шагу 2.

**Шаг 5.** Сохранение единичного значения  $l$ -го элемента  $p_l$  вектора  $P$ , соответствующего последней обнуленной строке  $\overline{A}_l^N$  в  $N$ -м цикле; завершение процесса классификации.

Таким образом, единичное значение  $l$ -го элемента  $p_l$  вектора  $P$  означает, что входной объект, заданный вектором  $X$  его признаков, принадлежит  $l$ -му классу  $C_l$ , т.е.  $(X | p_l = 1, l = \overline{1, m}) \Rightarrow C_l$ .

Цикл процесса классификации осуществляется шагами 2–4. В табл. 1 приведен пример реализации представленного алгоритма классификации, начиная с шага 2, применительно к исходной матрице  $\mathbf{A}^\circ$  размера  $3 \times 3$  вида

$$\mathbf{A}^\circ = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 6 \\ 4 & 6 & 2 \\ 5 & 1 & 8 \end{vmatrix}$$

На шаге 2, кроме обрабатываемой в данный момент матрицы  $\mathbf{A}^{t-1}$ , для  $t$ -го цикла указан вектор минимальных элементов  $q_j^t$  для каждого ее столбца. Прочерками (см. табл. 1) обозначены нулевые элементы полностью обнуленной строки матрицы, которые в дальнейшем не обрабатываются. Единичное значение элемента  $p_3$  вектора  $P$  в данном случае соответствует максимальной ДФ  $g_3(X)$ .

Таблица 1

Циклы	Шаг 2	Шаг 3	Шаг 4	Вектор $P$
	Текущая матрица $A^{t-1}$	Неупорядоченная матрица $\bar{A}^t$	Упорядоченная матрица $A^t$	
1	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} 2 & 3 & 6 \\ 4 & 6 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \end{array} \right  \\ [2 \ 1 \ 2] \end{array}$	$\left  \begin{array}{ccc} 0 & 2 & 4 \\ 2 & 5 & 0 \\ 3 & 0 & 6 \end{array} \right $	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} 2 & 4 & 0 \\ 2 & 5 & 0 \\ 3 & 6 & 0 \end{array} \right  \end{array}$	$\begin{array}{c} [0 \\ 0 \\ 0] \end{array}$
2	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} 2 & 4 & 0 \\ 2 & 5 & 0 \\ 3 & 6 & 0 \end{array} \right  \\ [2 \ 4 \ 0] \end{array}$	$\left  \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \end{array} \right $	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \end{array} \right  \end{array}$	$\begin{array}{c} [0 \\ 0 \\ 0] \end{array}$
3	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \end{array} \right  \\ [1 \ 0 \ 0] \end{array}$	$\left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \end{array} \right $	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{array} \right  \end{array}$	$\begin{array}{c} [0 \\ 0 \\ 0] \end{array}$
4	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ - & - & - \\ 2 & 0 & 0 \end{array} \right  \\ [2 \ 0 \ 0] \end{array}$	$\left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ - & - & - \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right $	$\begin{array}{c} \left  \begin{array}{ccc} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{array} \right  \end{array}$	$\begin{array}{c} [0 \\ 0 \\ 0] \end{array}$

РАСШИРЕНИЕ БАЗИСА САА В.М ГЛУШКОВА

Параллельная обработка по строкам и столбцам матрицы  $A^t$  требует введения двух размеченных массивов. Рассмотрим их:

- размеченный массив элементов  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  в виде вектор-строки  $M_r = \text{ПЛ} \uparrow a_1 a_2 \dots a_n^*$ , где ПЛ, и \* — специальные маркеры, обозначающие соответственно левую и правую границу этого массива,  $\uparrow$  — указатель;  $n$  — размерность массива;

- размеченный массив элементов  $(a_1, a_2, \dots, a_m)$  в виде вектор-столбца  $M_c = \text{ПЛ} \uparrow a_1 a_2 \dots a_m^*$ .

В качестве базисных операторов приняты следующие [10, 12, 13]:

- УСТ( $Z$ ) — оператор установки последовательности  $Z$  указателей  $V$  и маркеров  $W$ , где  $Z \in (V \cup W)$ ;

- НРУ — оператор начальной расстановки указателей;

- ФИН — оператор завершения работы регулярной схемы;

- ВЫВ( $R$ ) — оператор вывода результата;

- $\bar{C}$  — оператор сдвига указателя  $\uparrow$  на один элемент вправо;

- ТРАНСП( $l, r$ ) — перестановка соседних элементов  $l$  и  $r$  массива  $M_r$ .

Кроме того, далее использованы такие логические операции [7, 10, 12, 13], как дизъюнкция  $\alpha \vee \beta$ , конъюнкция  $\alpha \wedge \beta$ , отрицание  $\bar{\alpha}$ , композиция  $A \times B$  (т.е. последовательное выполнение операторов  $A$  и  $B$ ), альтернатива  $[\alpha](A \vee B)$  (т.е. если  $\alpha$ , то  $A$ , иначе  $B$ ) и цикл  $[\alpha]\{A\}$  (т.е. если  $\alpha$  ложное, то  $A$ , при  $\alpha$  истинном — конец цикла), а также используются следующие базисные условия:  $l \leq r$  истинное при выполнении указанного соотношения для соседних элементов  $l$  и  $r$  массива и  $d(*)$  истинное при достижении указателя  $\uparrow$  маркера \*.

Особенностью предложенной обработки элементов матрицы по РС является левосторонняя обработка элементов массивов  $M_r$  и  $M_c$  в результате циклического сдвига указателя  $\lceil$  слева направо.

С учетом особенности параллельной обработки массивов данных по РС обоснованными являются следующие дополнения к базисным операторам и условиям:

- $\text{ВЫЧ}(M, q)$  — оператор параллельного вычитания из всех элементов массива  $M$  элемента  $q$ ;
- $\text{НУЛ}(a_1, a_n)$  — оператор обнуления одного из элементов массива  $M$ ;
- $\gamma$  истинное при выполнении условия нахождения нулевых элементов в крайних правых позициях массива  $M_r$ ;
- $\theta_k$  истинное при выполнении условия (7);
- $\theta$  истинное при выполнении условия (8).

#### ЗАПИСЬ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ТЕРМИНАХ САА В.М ГЛУШКОВА

В качестве базовых операций предложенного алгоритма классификации используются следующие:

- выделение минимального элемента  $q_j^t$  (4) в векторном массиве  $A_j^{t-1}$ , где  $j = \overline{1, n}$ ;
- вычисление РС  $\overline{A}_j^t$  с элементами  $\overline{a}_{ij}^t$  (6);
- продвижение с обменом (транспозиция) вправо к крайним позициям нулевых элементов в векторном массиве  $\overline{A}_i^t$  (9), где  $i = \overline{1, m}$ .

Эти базовые операции можно записать в виде составных операторов следующим образом:

- составной оператор выделения минимального элемента среди элементов  $(a_1, a_m)$  РС  $A_j^{t-1}$ , обозначенный как массив  $M_{cj}$ :

$$\begin{aligned} \text{МИН}_j(\overline{a_1, a_m}) ::= [d^*] \{ [l \leq r] (\text{УСТ}(\min = l) \vee \text{УСТ}(\min = r) \overline{C}) \times \\ \times [\min \leq r] (\text{УСТ}(\min = \min) \vee \text{УСТ}(\min = r) \overline{C}) \}, \end{aligned} \quad (10)$$

с помощью которого реализуется последовательное выделение минимального элемента в каждой паре  $(\min, r)$  соседних элементов массива  $(a_1, a_n)$ , начиная с первой пары  $(l, r)$ , со сдвигом на один элемент вправо по массиву и с установкой (назначением) элементу  $\min$  одного из двух значений;

- составной оператор вычисления РС  $\overline{A}_j^t$ , который также можно обозначить как массив  $M_{cj}$ :

$$\text{СРЕЗ}_j(\overline{a_1, a_m}) ::= \text{НРУ} \times \text{МИН}_j(\overline{a_1, a_m}) \times \text{ВЫЧ}_j(M, \min) \quad (11)$$

с учетом одного оператора последовательного действия  $\text{МИН}_j(\overline{a_1, a_m})$  (10) и одного оператора параллельного действия  $\text{ВЫЧ}_j(M, \min)$  в каждом массиве  $M_{cj}$ ;

- составной оператор транспозиции нулевых элементов в массиве  $\overline{A}_i^t$ , обозначенный как массив  $M_{ri}$ :

$$\text{ТРАНС}_i(\overline{a_1, a_n}) ::= [\gamma] \{ \text{ТРАНС}_i(l, r) \overline{C} \}, \quad (12)$$

с помощью которого реализуется последовательное продвижение с обменом в соседних парах (транспозиция) нулевых элементов вправо к крайним позициям в каждом массиве  $M_{ri}$ .

Таким образом, описанный ранее алгоритм классификации на базе РС, начиная с шага 2, можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{КЛАСС}(\overline{x_1, x_n}) ::= & [\theta] \text{СРЕЗ}_{j=1}^n(\overline{a_1, a_m}) \times [\theta_k](\text{НУЛ}(\overline{p_1, p_m}) \vee \\ & \vee \text{ТРАНС}_{i=1}^m(\overline{a_1, a_n})) \times \text{ВЫВ}(P) \times \text{ФИН}. \end{aligned} \quad (13)$$

В записи (13) с учетом необходимости выполнения операции формирования срезов РС параллельно по всем  $n$  столбцам матрицы  $\mathbf{A}^t$  и операции транспозиции параллельно по всем  $m$  строкам матрицы  $\overline{\mathbf{A}}^t$  использовано следующее представление процессов параллельной обработки:

- $\text{СРЕЗ}_{j=1}^n(\overline{a_1, a_m})$  — параллельное выполнение оператора  $\text{СРЕЗ}_j(\overline{a_1, a_m})$  (11)

по всем  $n$  столбцам  $M_{cj}$ ;

- $\text{ТРАНС}_{i=1}^m(\overline{a_1, a_n})$  — параллельное выполнение оператора  $\text{ТРАНС}_i(\overline{a_1, a_n})$

(12) по всем  $m$  строкам  $M_{ri}$ .

Кроме того, в записи (13) оператор  $\text{ВЫВ}(P)$  используется для вывода результата процесса классификации, а именно вектора  $P$  с одним единичным элементом  $p_l$  в соответствии с шагом 5 алгоритма. При записи алгоритма классификации в виде (13) предполагается, что первоначальная матрица  $\mathbf{A}^\circ$  вида (3) сформирована до начала описываемого процесса.

Анализ составного оператора вычисления РС вида  $\text{СРЕЗ}_j(\overline{a_1, a_m})$  (11) позволяет предположить, что он модифицирован за счет совмещения выполнения операторов  $\text{МИН}_j(\overline{a_1, a_m})$  и  $\text{ВЫЧ}_j(M, \min)$ , например с использованием операции декремента над всеми элементами  $(\overline{a_1, a_m})$ , но в каждом столбце  $M_{cj}$  параллельно. Это значительно ускорит реализацию оператора  $\text{СРЕЗ}_j(\overline{a_1, a_m})$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ записи алгоритма классификации на базе формирования РС в терминах САА В.М. Глушкова, во-первых, подтвердил компактность представления при таком подходе, во-вторых, показал возможность дальнейшего совершенствования метода обработки двумерных (матричных) массивов данных по РС; в-третьих, продемонстрировал функциональную мощность базиса САА В.М. Глушкова, что позволяет описывать в его терминах сложные алгоритмы, в данном случае алгоритм классификации объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цейтлин Г.Е. Введение в алгоритмику. — К.: Сфера, 1998. — 310 с.
2. Цейтлин Г.Е. Алгебраическая алгоритмика: теория и приложения // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 1. — С. 8–18.
3. Андон Ф.И., Дорошенко А.Е., Цейтлин Г.Е., Яценко Е.А. Алгеброалгоритмические модели и методы параллельного программирования. — Киев: Академперіодика, 2007. — 671 с.
4. Андон Ф.И., Дорошенко А.Е., Жереб К.А. Программирование высокопроизводительных параллельных вычислений: формальные модели и графические ускорители // Кибернетика и системный анализ. — 2011. — № 4. — С. 176–187.

5. Андон Ф.И., Дорошенко А.Е., Бекетов А.Г., Иовчев В.А., Яценко Е.А. Инструментальные средства автоматизации параллельного программирования на основе алгебры алгоритмов // Кибернетика и системный анализ. — 2015. — № 1. — С. 162–170.
6. Цейтлин Г.Е., Амонс А.А., Головин О.В., Зубцов А.Ю. Интегрированный инструментальный проектирования и синтеза классов алгоритмов и программ // Кибернетика и системный анализ. — 2000. — № 3. — С. 165–169.
7. Цейтлин Г.Е. Алгебры Глушкова и теория клонов // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 4. — С. 48–58.
8. Борисов Е.С. Полуавтоматическая система декомпозиции последовательных программ для параллельных вычислителей с распределённой памятью // Кибернетика и системный анализ. — 2004. — № 3. — С. 139–150.
9. Цейтлин Г.Е., Иванов Е.А. Специализированные информационные технологии для лиц с физическими ограничениями // Управляющие системы и машины. — 2008. — № 5. — С. 62–69, 74.
10. Цейтлин Г.Е. Трансформационная сводимость и синтез алгоритмов и программ символьной обработки // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 5. — С. 165–173.
11. Овсяк В.К., Овсяк О.В. Порівняльний аналіз алгебричних методів запису алгоритмів // Обчислювальні методи і системи перетворення інформації: II наук.-техн. конф., 4-5 жовтня 2012 р.: Зб. наук. праць. — Львів: ФМІ НАНУ, 2012. — С. 117–119.
12. Цейтлин Г.Е. Проектирование последовательных алгоритмов сортировки: классификация, трансформация, синтез // Программирование. — 1989. — № 3. — С. 3–24.
13. Цейтлин Г.Е. Распараллеливание алгоритмов сортировки // Кибернетика. — 1989. — № 6. — С. 67–74.
14. Кожемяко В.П., Мартынюк Т.Б., Хомюк В.В. Особенности структурного программирования синхронных алгоритмов сортировки // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 5. — С. 122–133.
15. Яценко Е.А. Регулярные схемы алгоритмов адресной сортировки и поиска // Управляющие системы и машины. — 2004. — № 5. — С. 61–66.
16. Мартынюк Т.Б. Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації. Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ — Вінниця, 2000. — 216 с.
17. Мартынюк Т.Б., Хомюк В.В. Мультиобработка массивов данных по разностным срезам // Кибернетика и системный анализ. — 2011. — № 6. — С. 132–137.
18. Мартынюк Т.Б. Модель порогового нейрона на основе параллельной обработки по разностным срезам // Кибернетика и системный анализ. — 2005. — № 4. — С. 78–89.
19. Васюра А.С., Мартынюк Т.Б., Куперштейн Л.М. Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування. Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ — Вінниця, 2008. — 175 с.
20. Мартынюк Т.Б., Буда А.Г., Хомюк В.В., Кожемяко А.В., Куперштейн Л.М. Классификатор биомедицинских сигналов // Искусственный интеллект. — 2010. — № 3. — С. 88–95.
21. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания: учеб. пособие. — 3-е изд. — М.: Высш. шк., 1989. — 232 с.
22. Дискриминантный анализ [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html>
23. Дискриминантные функции для классификации многомерных объектов [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/kapystina/library/disc\\_suban2.html](http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/kapystina/library/disc_suban2.html)
24. Справочник по цифровой схемотехнике / В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. — К.: Техника, 1990. — 448 с.

*Поступила 22.12.2014*