

УДК 004.93'1

Т. Б. МАРТИНЮК, А. В. КОЖЕМ'ЯКО, Т. Ю. ПОЗДНЯКОВА

ОСОБЛИВОСТІ ДВОВИМІРНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ЗА РІЗНИЦЕВИМИ ЗРІЗАМИ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе 95, Україна
E-mail: slavaf@vntu.edu.ua*

Анотація. В роботі розглянуто особливості оброблення елементів дискримінантних функцій (ДФ) у вигляді матриці за методом різницевих зрізів (РЗ). Оцінено часові характеристики та апаратні витрати при реалізації двовимірного оброблення за РЗ.

Abstract. The approaches for processing elements of discriminate functions (DFs) in the form of a matrix by the method of difference slices (DSs) are described in this paper. The time characteristics and hardware costs when 2D processing with DSs are discussed.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности обработки элементов дискриминантных функций (ДФ) в виде матрицы методом разностных срезов (РС). Оценены временные характеристики и аппаратные затраты при реализации двумерной обработки по РС.

Ключові слова: дискримінантна функція, різницевий зріз, матриця елементів дискримінантних функцій.

ВСТУП

Класифікація об'єктів поряд з кластеризацією образів, ідентифікацію об'єктів, прогнозуванням ситуацій є однією з процедур розпізнавання образів [1—3]. Крім того, класифікація як складова широко використовується в експертних системах [4], наприклад, при медичному діагностуванні [5] та діагностуванні несправностей [6], а також в інтелектуальних системах різного призначення [7—9].

Відомо, що класифікація об'єктів виконується за одним з трьох відомих методів [10]:

- а) за максимумом i -ої дискримінантної функції (ДФ), що визначає i -й клас, до якого належить довільний вектор спостережень;
- б) за мінімумом відстані Махаланобісу від об'єкта спостережень до центроїда кожного класу;
- в) з використанням оцінки апостеріорних ймовірностей належності вхідного вектора до певних класів.

Два перших методи широко використовуються у прикладних застосуваннях при медичному діагностуванні [11, 12], при цьому перевага віддається другому методу через значний об'єм розрахунків значень лінійних ДФ за першим методом [11]. Але в обох цих методах використовується лінійний дискримінантний аналіз як метод багатовимірної статистики та машинного навчання для знаходження лінійних комбінацій ознак, що найкраще поділяють класи об'єктів [13]. Отримані комбінації використовуються в якості лінійного класифікатора або для скорочення розмірності простору ознак у подальшій класифікації [13]. При цьому загальним принципом дискримінантного аналізу є включення у дослідження по можливості більшої кількості змінних для визначення тих з них, що найкраще поділяють вибірки між собою [10].

Отже, для більш широкого застосування методу класифікації за ДФ необхідно, по-перше, зменшити об'єм розрахунків значень ДФ; по-друге, розширити функціональні можливості способу оброблення ДФ, наприклад, за рахунок визначення їх рангів; по-третє, прискорити процес визначення максимальної ДФ.

Тому метою даної роботи є аналіз часових та апаратних витрат при реалізації процесу класифікації за ДФ із застосуванням методу оброблення їх елементів за різницевиими зрізами (РЗ), що дозволяє оцінити складність реалізації цього методу класифікації.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Один з методів паралельного оброблення векторних масивів даних, що дозволяють підвищити рівень паралелізму з одночасним розширенням функціональних можливостей процесу оброблення, є метод із застосуванням різницевих зрізів (РЗ) [14, 15]. Цей метод докладно досліджений, що дозволило

показати його функціональні потужності при обробленні векторних масивів для моделей формального нейрона з пороговою функцією активації [16.]

В подальшому цей метод був розповсюджений на оброблення двовимірних масивів даних, які утворюють елементи ДФ без врахування порогів класифікації θ_i у вигляді:

$$\begin{aligned} g_1(X) &= w_{11} \cdot x_1 + w_{12} \cdot x_2 + \dots + w_{1n} \cdot x_n, \\ g_2(X) &= w_{21} \cdot x_1 + w_{22} \cdot x_2 + \dots + w_{2n} \cdot x_n, \\ &\dots \\ g_m(X) &= w_{m1} \cdot x_1 + w_{m2} \cdot x_2 + \dots + w_{mn} \cdot x_n, \end{aligned} \quad (1)$$

де $g_i(X)$ — i -та ДФ, $i = \overline{1, m}$; $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ — вхідний вектор ознак; w_{ij} — ваговий коефіцієнт входження j -го компонента x_j в i -й клас $C_i, j = \overline{1, n}$.

Тоді ввівши позначення

$$a_{ij}^0 = w_{ij} \cdot x_j, \quad (2)$$

кожне з рівнянь (1) можна записувати у вигляді

$$g_i(X) = \sum_{j=1}^n a_{ij}^0, \quad (3)$$

а самі елементи a_{ij}^0 можна розглядати як відповідні елементи матриці A^0 таким чином

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{11}^0 & a_{12}^0 & \dots & a_{1n}^0 \\ a_{21}^0 & a_{22}^0 & \dots & a_{2n}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^0 & a_{m2}^0 & \dots & a_{mn}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ A_2^0 \\ \dots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

тобто як елементи відповідних рядків A_i^0 матриці A^0 (4)

З іншого боку, враховуючи те, що елементи a_{ij}^0 є доданками i -ої ДФ $g_i(X)$ (3), то відповідно елементи у рядках A_i^0 матриці A^0 мають властивості асоціативності і комутативності [18]. Отже, це дозволяє обробляти елементи стовпців матриці A^0 , а також наступних матриць A^t , де $t = \overline{1, N}$ паралельно, оскільки вони представляють собою однойменні елементи відповідних ДФ $g_i(X)$ (1).

Остаточне рішення в процесі класифікації за ДФ приймається за таким вирішальним правилом [13,17]:

$$p_l = \{1 \mid \max g_l(X), l = \overline{1, m}\} \Rightarrow X \in C_l, \quad (5)$$

де $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ — вихідний вектор класифікації; $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ — множина класів.

Отже, наявність одиничного значення елемента p_l вектора класифікації P свідчить про належність вхідного вектора ознак X до l -го класу C_l [12, 13]. Максимальне значення l -ої ДФ $g_l(X)$ (5) можна визначити, не обраховуючи значення самих ДФ $g_1(X), \dots, g_m(X)$, а обробляючи елементи матриці A^0 (4) за РЗ [17].

Таким чином, процес визначення максимальної ДФ $g_l(X)$ серед m ДФ $g_1(X), \dots, g_m(X)$ можна звести до визначення l -го рядка A_l^0 матриці A^0 , сума елементів якого є максимальною, але при цьому не формуючи цю суму (3). При цьому для порівняння з відомим методом необхідно визначити часові та апаратні витрати на оброблення елементів матриці A^0 розмірністю $m \times n$ за РЗ.

АЛГОРИТМ ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАТРИЦІ ЗА РІЗНИЦЕВИМИ ЗРІЗАМ

Алгоритм оброблення елементів матриці A^0 з визначенням рядка A_l^0 з максимальною сумою його елементів за РЗ має такий вигляд [17, 19]:

- 1) введення двовимірного масиву (матриці) A^0 ;
- 2) присвоєння нульових значень елементам p_i вектора класифікації P ;
- 3) пошук мінімального ненульового елемента a^{t-l}_{ij} в кожному j -му стовпці поточної матриці A^{t-l} , $t = \overline{1, N}$;
- 4) паралельне віднімання від кожного елемента у всіх стовпцях матриці A^{t-l} відповідного мінімального елемента і формування невпорядкованої матриці \overline{A}^t ;
- 5) перевірка умови наявності хоча б одного нульового рядка \overline{A}_k^t у поточній матриці \overline{A}^t , тобто

$$\exists \overline{A}_k^t = 0, k = \overline{1, m}, \quad (6)$$

а також умови обнуління всіх рядків поточної матриці \overline{A}^t :

$$\forall \overline{A}_i^t = 0, t = \overline{1, N}, \quad (7)$$

причому за умови (6) перехід до п. 6, за умови (7) перехід до п. 7;

1) транспозиція (переміщення з обміном) нульових елементів у кожному i -му рядку \overline{A}_i^t поточної матриці \overline{A}^t у крайню праву вільну позицію і формування впорядкованої матриці A^t , перехід до п. 3;

2) завершення процесу оброблення і присвоєння одиничного значення елементу p_i вектора класифікації P , що відповідає останньому нульовому рядку A_i^N матриці A^N .

В даному алгоритмі цикл складають пп. 3—6.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА ДИСКРИМІНАНТНИМИ ФУНКЦІЯМИ

Класифікація за ДФ вигляду (5) передбачає постановку лінійної задачі розподілення сигналів на класи, для вирішення якої розроблено певний математичний апарат [11]. У класифікаторі [12], який розглядається як аналог, використовується спосіб, що базується на розбитті спостережень на навчальні та перевіірочні вибірки [11].

В якості альтернативи до відомого методу класифікації образів з використанням ДФ [12] за умову прийнято, що сформовані векторні масиви (вектор-рядки) зважених елементів ДФ утворюють матрицю A^0 (4) розмірністю $m \times n$ елементів [17,19]. На рис. 1 показано, які перетворення виконуються в процесі класифікації за ДФ у класичному варіанті оброблення елементів матриці A^0 [12] і при обробленні її елементів за РЗ.

У першому випадку (класичний варіант) утворення сум $g_i(X)$, тобто згортка елементів по рядках матриці A^0 , і порівняння їх відбувається при попарному підсумовуванні доданків та попарному порівнянні отриманих сум. При цьому, якщо обчислення на кожному з етапів відбувається паралельно, тобто використовується метод каскадної загальної суми [20], то для n вхідних елементів необхідно провести $\log_2 n$ етапів обчислень. Для матриці розмірністю $m \times n$ елементів у випадку, якщо час підсумовування t_{sum} та порівняння t_{com} двох чисел на одному етапі обчислень приймати рівними $t_{sum} \sim t_{com} = t$, то загальний час T_0 класифікації векторних масивів чисел розраховують таким чином :

$$T_0 = t(\log_2 n + \log_2 m). \quad (8)$$

При цьому загальна кількість операцій M підсумовування і порівняння складає величину [20]:

$$M = m \cdot \sum_{j=1}^{\log_2 n} \frac{n}{2^j} + \sum_{i=1}^{\log_2 m} \frac{m}{2^i} = m \cdot (n-1) + (m-1) = mn-1, \quad (9)$$

де $j = \overline{1, \log_2 n}$, $i = \overline{1, \log_2 m}$ — кількість етапів підсумовування і порівняння відповідно.

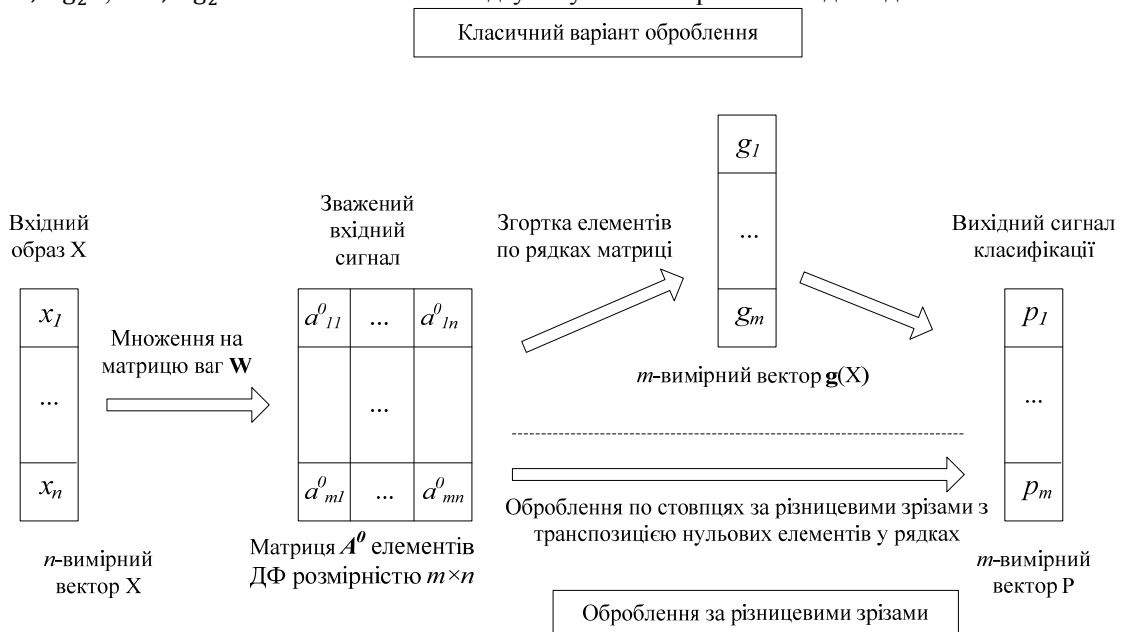


Рис. 1. Схема перетворень в процесі класифікації за ДФ

Апаратні витрати класифікатора з урахуванням його каскадної (деревоподібної) структури визначаються кількістю суматорів та елементів порівняння (компараторів), які необхідні для обчислень, та складають [20]:

$$K = m(n-1) \cdot K_{sum} + (m-1) \cdot K_{com} \approx (mn-1) \cdot K_{sum}, \quad (10)$$

де K_{sum} — складність суматора; K_{com} — складність компаратора.

За умови квадратної матриці A^0 розмірністю $m \times m$ маємо такі співвідношення для виразів (8) — (10) відповідно:

$$T_0 = 2t \cdot \log_2 m; \quad (11)$$

$$M = m^2 - 1; \quad (12)$$

$$K = (m^2 - m) \cdot K_{sum} + (m-1) \cdot K_{com} \approx (m^2 - 1) \cdot K_{sum}. \quad (13)$$

У другому випадку існує можливість проводити класифікацію із сортуванням (ранжуванням) векторних масивів зважених даних з формуванням їхніх рангів, якщо використовувати оброблення за РЗ [17, 19, 21]. В цьому випадку базовим вузлом класифікатора є обчислювач, який можна розглядати за його функціональними можливостями як матрицю ПЕ. Отже, для матриці ПЕ загальний час T_0 класифікації і сортування векторних масивів чисел розраховують таким чином [22]:

$$T_0 = N \cdot T_u = N(T_{min} + T_{sub} + T_{tr}) = N \cdot ((m-1) \cdot t_{com} + t_{sub} + t_{tr}), \quad (14)$$

де T_u — час виконання циклу оброблення; T_{min}, T_{sub}, T_{tr} — відповідно час визначення мінімального елемента, віднімання у стовпцях і транспозиції у рядках матриці ПЕ; t_{com}, t_{sub}, t_{tr} — час порівняння, віднімання і транспозиції двох чисел відповідно.

У роботі [22] досліджено часові параметри (кількість циклів) при обробленні двовимірних масивів даних за РЗ, які залежать не тільки від розмірності $m \times n$ матриці елементів ДФ, але й від співвідношення між кількістю її рядків і стовпців: $m = n$, $m < n$, $m > n$. Дослідження показали, що мінімальна кількість циклів у всіх випадках складає

$$N_{min} = m, \quad (15)$$

а максимальна кількість циклів в середньому має таку залежність

$$N_{max} = O(mn/2). \quad (16)$$

У випадку, якщо

$$t_{com} \sim t_{sub}, = t, \quad t_{tr} \ll t_{sub}, \quad (17)$$

мінімальний час визначення максимального масиву чисел дорівнює

$$T_0^{min} = N_{min} \cdot ((m-1) \cdot t_{com} + t_{sub} + t_{tr}) = ((m-1) \cdot t + t) \cdot m = m^2 \cdot t. \quad (18)$$

Максимальну кількість циклів визначаємо як:

$$N_{max} = mn/2, \quad (19)$$

або

$$N_{max} = m^2/2, \quad (20)$$

припускаючи, що матриця A^0 (4) є квадратною $m \times m$ і обчислення виконується над кожним елементом матриці. Тоді максимальний час визначення максимального масиву чисел за умови (17) складає:

$$T_0^{max} = N_{max} \cdot ((m-1) \cdot t_{com} + t_{sub} + t_{tr}) = ((m-1) \cdot t + t) \cdot \frac{mn}{2} = \frac{m^2 n}{2} \cdot t. \quad (21)$$

або

$$T_0^{max} = \frac{m^3}{2} \cdot t, \quad \text{якщо } n = m. \quad (22)$$

Апаратні витрати такої матриці ПЕ визначаються складністю її ПЕ, яка більша за складність суматора і елемента порівняння, оскільки ці вузли входять до складу ПЕ [23]. Але складність ПЕ матриці компенсується її функціональною потужністю.

Загальна кількість операцій порівняння і віднімання для варіанта оброблення елементів матриці A^0 за РЗ складає

$$M = N \cdot ((m-1) + 1) \cdot n = N \cdot m \cdot n, \quad (23)$$

або для N_{min} (15)

$$M_{min} = m^2 n \quad (24)$$

і для N_{max} (19)

$$M_{max} = (mn)^2 / 2, \quad (25)$$

тобто залежність від кількості m класів класифікації, розмірності n вхідного вектора та кількості N циклів оброблення, а апаратні витрати матриці ПЕ класифікатора в цьому випадку складають:

$$K = K_{cel} \cdot mn + m \cdot K_{tr} \approx K_{cel} \cdot mn. \quad (26)$$

або

$$K = K_{cel} \cdot m^2 + m \cdot K_{tr} \approx K_{cel} \cdot m^2, \text{ якщо } m = n, \quad (27)$$

де K_{cel} — складність ПЕ в обчислювачі; K_{tr} — складність тригера, причому $K_{cel} > K_{tr}$.

Отримані результати зведено у табл. 1. Для наочності розглянемо порівняння двох наведених варіантів за умови квадратної матриці A^0 $m \times m$. Отже, приблизно за рівних апаратних витрат (13) і (27) варіант оброблення за РЗ програє по часовим витратам (11) і (22) приблизно у $m^3 / \log_2 m$ разів, що компенсується значним розширенням функціональних можливостей способу, оскільки можна отримати результати чотирьох обчислювальних операцій замість однієї, що властиво класичному методу оброблення ДФ (табл. 1).

Співвідношення часових витрат можна на порядок скоротити, якщо замість послідовного способу порівняння елементів у стовпцях матриці A^t застосувати паралельний спосіб порівняння з одночасним зменшенням на загальну величину всіх елементів у кожному стовпці. Для цього необхідно ввести у кожен комірку обчислювача реверсивні лічильники [24].

Таблиця 1.

Характеристика способів класифікації за ДФ

Способи	Загальний час, T_0	Кількість операцій підсумовування і порівняння, M	Апаратна складність, K	Функціональні можливості
Класичний варіант оброблення ДФ	$T_0 = t(\log_2 n + \log_2 m)$	$M = mn - 1$	$K = m(n-1) \cdot K_{sum} + (m-1) \cdot K_{com} \approx (mn-1) \cdot K_{sum}$	Формування вихідного вектора класифікації
Оброблення ДФ за РЗ	$T_0^{min} = t \cdot m^2$ $T_0^{max} = t \cdot \frac{m^2 n}{2}$	$M = Nmn$ $N_{min} = m$ $N_{max} = mn/2$ $M_{min} = m^2 n$ $M_{max} = (mn)^2 / 2$	$K \approx nm \cdot K_{cel}$	1. Формування вихідного вектора класифікації 2. Формування вектора рангів ДФ 3. Формування значень ДФ. 4. Формування вектора порогових ознак
n — розмірність вхідного вектора (образу); m — кількість класів; N — кількість циклів оброблення; K_{sum} — складність суматора; K_{cel} — складність комірки обчислювача; K_{com} — складність компаратора.				

ВИСНОВКИ

1. Аналіз відомих методів класифікації об'єктів показав, що найбільш розповсюдженими, наприклад, у медичному діагностуванні є методи лінійного дискримінантного аналізу. Але разом з тим, класифікація за лінійними дискримінантними функціями (ДФ) має суттєвий недолік — значний об'єм розрахунків. Тому в роботі досліджено відомий метод оброблення за різницевиими зрізами (РЗ) векторних масивів даних стосовно одночасного оброблення стовпців матриці, елементи рядків якої складають

доданки відповідних ДФ. Такий підхід дозволяє визначити не тільки максимальну ДФ, але й найближчі до неї за своїми значеннями.

2. Структурна організація класифікатора для обчислення і порівняння ДФ у процесі класифікації за РЗ має вигляд матричної структури ПЕ з розширеними функціональними можливостями, максимальним рівнем розпаралелювання процесу оброблення за РЗ та високим ступенем однорідності схемної реалізації на відміну від необхідності застосування двійкового дерева (у вигляді каскаду) для обчислення загальних сум ДФ та їх сортування за класичним варіантом.

3. Порівняння розглянутих способів класифікації за ДФ показало, що приблизно за однакових апаратних витрат запропонований спосіб програє по часовим витратам приблизно у $m^3/\log_2 3 m$ разів у найнесприятливіших умовах. Але це компенсується значним розширенням функціональних можливостей методу оброблення за РЗ за рахунок отримання результатів чотирьох обчислювальних операцій, а саме, вектора класифікацій, вектора рангів ДФ, значень ДФ і вектора порогових ознак, замість одного результату (вектора класифікації), що властиво класичному варіанту оброблення ДФ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В.Круглов, В. В.Борисов. — 2-е изд. — М :Горячая линия — Телеком, 2002. — 382 с. — ISBN 5-93517-031-0.
2. Кабачій В. В. Використання інтелектуальних технологій для аналізу та прогнозування динаміки цінних коливань / В. В. Кабачій, К. Д. Сторожук, А. В. Шкарпета // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2005. — № 3. — С. 102—107.
3. Распознавание изображений [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://sumschool.sumdu.edu.ua>.
4. Аналитический обзор методов распознавания образов и принятия решений [Электронный ресурс] — Режим доступа : <http://lc.boom.ru/aidos93/3.html>
5. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Р. М. Рангайян; пер.с англ. А. П. Немирко. — М :ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-0730-3.
6. Локазюк В. М. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем : нав. посібник / В. М. Локазюк, О. В. Поморова, А. О. Домінов. — К. :«Такі справи », 2001. — 286 с. — ISBN 966-02-3925-4.
7. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы /А. В. Гаврилов. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. — 162 с. — ISBN 5-7782-0413-2.
8. Куссуль Э. М. Нейросетевые классификаторы для распознавания рукописных символов / Э. М. Куссуль, Л. М. Касаткина, В. В. Лукович // Управляющие системы и машины. — 1999. — № 4. — С. 77—86. — ISBN 0130- 5395.
9. Олійник Г. Т. Побудова класифікаторів в задачах біометричної ідентифікації та аутентифікації користувачів / Г. Т. Олійник, І. В. Степанушко, І. Б. Трегубенко // Вісник Черкаського державного технічного університету. — 2009. — № 1. — С. 37—40.
10. Дискриминантные функции для классификации многомерных объектов [Электронный ресурс] — Режим доступа : http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/kapustina/library/discr_an2.html
11. Юнкеров В. И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований/ В. И. Юнкеров, С. Г. Григорьев. — СПб. : БМедА, 2002.-216с.- ISBN 5-94277-011-05.
12. Бернюков А. К. Распознавание биоэлектрических сигналов / А. К. Бернюков, Л. Т. Сушкова // Зарубежная радиоэлектроника. — 1996. — № 12. — С. 47—51.
13. Дискриминантный анализ [Электронный ресурс] — Режим доступа : <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html>
14. Мартинюк Т. Б. Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації / Т. Б. Мартинюк — Вінниця : УНІВЕРСУМ — Вінниця, 2000. — 216с. — ISBN 966-7199-98-3.
15. Мартинюк Т. Б. Методи та засоби паралельних перетворень векторних масивів даних / Т. Б. Мартинюк, В. В. Хом'юк. — Вінниця : УНІВЕРСУМ — Вінниця, 2005. — 203 с. — ISBN 966-641-114-8.
16. Мартинюк Т. Б. Модель порогового нейрона на основе параллельной обработки по разностным срезам/ Т. Б. Мартинюк // Кибернетика и системный анализ. — 2005. — № 4. — С. 78—89. —ISSN 0023-1274.
17. Мартинюк Т. Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т. Б. Мартинюк, А. Г. Буда, В. В. Хом'юк, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн // Искусственный интеллект. — 2010. —

- № 3. — С. 88—95. — ISSN 1561-5359.
18. Зубчук В. И. Справочник по цифровой схемотехнике / В. И. Зубчук, В. П. Сикорский, А. Н. Шкуро — К. : Техника, 1990. — 448 с. — ISBN 5-335-00584-X.
 19. Мартинюк Т. Б. Моделювання процесу класифікації з обробленням даних за методом різницевого зрізів / Т. Б. Мартинюк, М. В. Дзісь, П. В. Медвідь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 4. — С. 144—150. — ISSN 1997-9266.
 20. Хохлюк В. И. Параллельные алгоритмы целочисленной оптимизации / В. И. Хохлюк. — М. : Радио и связь, 1987. — 224 с.
 21. Мартинюк Т. Б. Моделювання процесу ранжирування значень дискримінантних функцій / Т. Б. Мартинюк, А. В. Медвідь, О. М. Гуцол // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 5. — С. 74—80. — ISSN 1997-9266.
 22. Мартинюк Т. Б. Особливості паралельно-позрізового оброблення елементів матриць для класифікації / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, А. В. Мельник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2013. — № 2(26). — С. 28—33. — ISSN 1681-7893.
 23. Пат. 13107 Україна, МПК⁷G06F7/00. Комірка однорідної структури / Т. Б. Мартинюк, Ж. О. Бітюкова, М. О. Юрченко, М. М. Грендач; Вінниц. нац. техн. ун-т. — № u200508992; заявл. 23.09.2005; опуб. 15.03.2006. Бюл. № 3.
 24. Пат. 71946 Україна, МПК⁸G06F7/00. Комірка однорідної структури / Т. Б. Мартинюк, С. С. Гончар, А. В. Лілевський; Вінниц. нац. техн. ун-т. — № u201203211; заявл. 19.03.2012; опуб. 25.07.2012. Бюл. № 4.

REFERENCES

1. Kruhlov V. V. Yskusstvennye neuronnye sety. Teoriya y praktyka / V. V. Kruhlov, V. V. Borysov. — 2-e yzd. — M:Horiachaia lynyia- Telekom, 2002. — 382 s. — ISBN 5-93517-031-0.
2. Kabachii V. V. Vykorystannia intelektualnykh tekhnolohii dlia analizu ta prohozuvannia dynamiky tsinovyykh kolyvan / V. V. Kabachii, K. D. Storozhuk, A. V. Shkarpeta//Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. — 2005. — № 3. — S. 102—107.
3. Raspoznavanye yzobrazhenyi [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu: <http://sumschool.sumdu.edu.ua>.
4. Analytycheskyi obzor metodov raspoznavaniya obrazov y pryniatya reshenyi [Elektronnyi resurs] — Rezhym dostupu: <http://lc.boom.ru/aidos93/3.html>
5. Ranhaiian R. M. Analiz byomeditsynskykh syhnalov. Praktycheskyi podkhod / R. M. Ranhaiian; per.s anhl. A. P. Nemyrko. — M : FYZMATLYT, 2007. — 440 s. — ISBN 978-5-9221-0730-3.
6. Lokaziuk V. M. Intelektualne diahnostuvannia mikroprotsesornykh prystroiv ta system : nav. posibnyk / V. M. Lokaziuk, O. V. Pomorova, A. O. Dominov. — K. : «Taki spravy», 2001. — 286 s. — ISBN 966-02-3925-4.
7. Havrylov A. V. Hybrydnye yntellektualnye systemy / A. V. Havrylov. — Novosybyrsk : Yzd-vo NHTU, 2003.-162s.- ISBN 5-7782-0413-2.
8. Kussul E. M. Neurosetevye klasyfykatory dlia raspozavaniya rukopysnykh symvolov / E. M. Kussul, L. M. Kasatkyna, V. V. Lukovych // Upravliaiushchye systemy y mashyny. — 1999. — № 4. — S. 77—86. — ISBN 0130- 5395.
9. Oliinyk H. T. Pobudova klasyfikatoriv v zadachakh biometrychnoi identyfikatsii ta autentyfikatsii korystuvachiv / H. T. Oliinyk, I. V. Stepanushko, I. B. Trehubenko // Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu. — 2009. — № 1. — S. 37—40.
10. Dyskrymynantnye funktsyy dlia klasyfykatsyy mnohomernykh ob'ektov [Elektronnyi resurs] — Rezhym dostupu: http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/kapustina/library/discr_an2.html
11. Yunkerov V. Y. Matematyko-statystycheskaia obrabotka dannykh meditsynskykh yssledovanyi / V. Y. Yunkerov, C. H. Hryhorev. — SPb. : BMedA, 2002. —216 s. — ISBN 5-94277-011-05.
12. Berniukov A. K. Raspoznavanye byoelektrycheskykh syhnalov / A. K. Berniukov, L. T. Sushkova // Zarubezhnaia radyoelektronika. — 1996. — № 12. — S. 47—51.
13. Dyskrymynantnyi analiz [Elektronnyi resurs] — Rezhym dostupu: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html>
14. Martyniuk T. B. Rekursyvni alhorytmy bahatooperandnoi obrobky informatsii / T. B. Martyniuk — Vinnytsia : UNIVERSUM — Vinnytsia, 2000. — 216 s. — ISBN 966-7199-98-3.
15. Martyniuk T. B. Metody ta zasoby paralellykh peretvoren vektornykh masyviv danykh / T. B. Martyniuk, V. V. Khomiuk. — Vinnytsia : UNIVERSUM — Vinnytsia, 2005. — 203 s.— ISBN 966-641-114-8.

16. Martyniuk T. B. Model porohovoho neirona na osnove parallelnoi obrabotky po raznostnym srezam / T. B. Martyniuk // Kybernetyka u systemnyi analiz. — 2005. — № 4. — S. 78—89. — ISSN 0023-1274.
17. Martyniuk T. B. Klassyfykator byomedytynskykh syhnalov / T. B. Martyniuk, A. H. Buda, V. V. Khomiuk, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershtein // Yskusstvennyi yntellekt. — 2010. — № 3. — S. 88—95. — ISSN 1561-5359.
18. Zubchuk V. Y. Spravochnyk po tsyfrovoy skhemotekhnike / V. Y. Zubchuk, V. P. Sykorskyi, A. N. Shkuro — K. : Tekhnika, 1990. — 448 s. — ISBN 5-335-00584-Kh.
19. Martyniuk T. B. Modeliuvannia protsesu klasyfikatsii z obroblenniam danykh za metodom riznytsevykh zrizediv / T. B. Martyniuk, M. V. Dzis, P. V. Medvid // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. — 2012. — № 4. — S. 144—150. — ISSN 1997-9266.
20. Khokhliuk V. Y. Parallelnye alhorytmy tselochyslennoi optymyzatsyy / V. Y. Khokhliuk. — M. : Radyo y sviaz, 1987. — 224 s.
21. Martyniuk T. B. Modeliuvannia protsesu ranzhyruvannia znachen dyskryminantnykh funktsii / T. B. Martyniuk, A. V. Medvid, O. M. Hutsol // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. — 2013. — № 5. — S. 74—80. — ISSN 1997-9266.
22. Martyniuk T. B. Osoblyvosti paralelno-pozrizovoho obroblennia elementiv matryts dlia klasyfikatsii / T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, A. V. Melnyk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. — 2013. — № 2(26). — S. 28—33. — ISSN 1681-7893.
23. Pat. 13107 Ukraina, MPK7G06F7/00. Komirka odnoridnoi struktury / T. B. Martyniuk, Zh. O. Bitiukova, M. O. Yurchenko, M. M. Hrendach; Vinnyts. nats. tekhn. un-t. — № u200508992; zaiavl. 23.09.2005; opub. 15.03.2006. Biul. № 3.
24. Pat. 71946 Ukraina, MPK8G06F7/00. Komirka odnoridnoi struktury / T. B. Martyniuk, S. S. Honchar, A. V. Lilevskyi; Vinnyts. nats. tekhn. un-t. — № u201203211; zaiavl. 19.03.2012; opub. 25.07.2012. Biul. № 4.

Надійшла до редакції 20.06.2015 р.

МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА — д.т.н., професор кафедри лазерної і оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ — к.т.н., доцент кафедри лазерної і оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ПОЗДНЯКОВА ТЕТЯНА ЮРІЇВНА — студентка магістратури 1-го року навчання кафедри лазерної і оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.