

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 621.391.19

Т. Б. Мартинюк, канд. техн. наук, доц.; Г. Д. Дорощенко, канд. техн. наук, доц.;
О. М. Гуцол, асп.

СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ БАЗОВИХ БЛОКІВ ДЛЯ КЛАСИФІКАТОРА ОБРАЗІВ

Розглянуто методи та засоби класифікації образів з використанням дискримінантного аналізу. Наведено структурні та функціональні рішення щодо організації основних вузлів блока класифікації, які забезпечують багатofункціональність оброблення за різницеvими зрізами.

Вступ

На сьогоднішній день задача класифікації з використанням дискримінантного аналізу є актуальною в таких галузях як: медицина, соціологія, психологія, економіка та ін. де в процесі спостереження за великими статистичними сукупностями часто з'являється необхідність розділити неоднорідну сукупність на однорідні групи (класи) [1].

Дискримінантний аналіз — це метод багатомірної статистики, який застосовується для розв'язання задач класифікації і дозволяє віднести об'єкт з певним набором ознак до певного відомого класу. В медицині дискримінантний аналіз застосовується для розв'язання задач діагностування, прогнозування, експертних задач, задач профвідбору, вибору методів і схем лікування. У зв'язку з цим є необхідність у розробленні та створенні нових засобів класифікації образів з розширеними інтелектуальними можливостями [2]. Особливий інтерес з цієї точки зору становить нейромережний підхід з його розвинутими програмними та апаратними можливостями. В задачах розпізнавання та класифікації образів має місце оброблення набору багатовимірних вхідних сигналів, який може бути представлений векторним масивом. Цей масив, в свою чергу, є набором дискретизованих значень параметрів або ознак, які характеризують деякий об'єкт (образ) [3]. Одним з наочних прикладів застосування розпізнавання образів є класифікація біосигналів в системах діагностування стану здоров'я людини [1, 2]. Порівняння ефективності різних діагностичних методів показало, що найкорисніша інформація про функціонування внутрішніх органів і фізіологічних систем організму міститься в біоелектричних сигналах, що знімаються з різних ділянок під шкірним покривом або з поверхні тіла. [2].

Постановка задачі

Одним із відомих методів розпізнавання біоелектричних сигналів є метод, у якому використовується система дискримінантних функцій (ДФ) $g_i(Z)$, $i = \overline{1, m}$, де Z — n -вимірний вхідний образ, m — кількість класів $C = (C_1, \dots, C_m)$ [2]. В цьому методі належність вхідного образу Z до певного класу визначається за максимумом відповідної ДФ $g_i(Z)$ в системі ДФ $g_1(Z), \dots, g_m(Z)$.

У класичному способі реалізації цього методу визначення значення кожної ДФ виконується шляхом звичайного підсумовування. В цьому випадку система ДФ має вигляд [2]

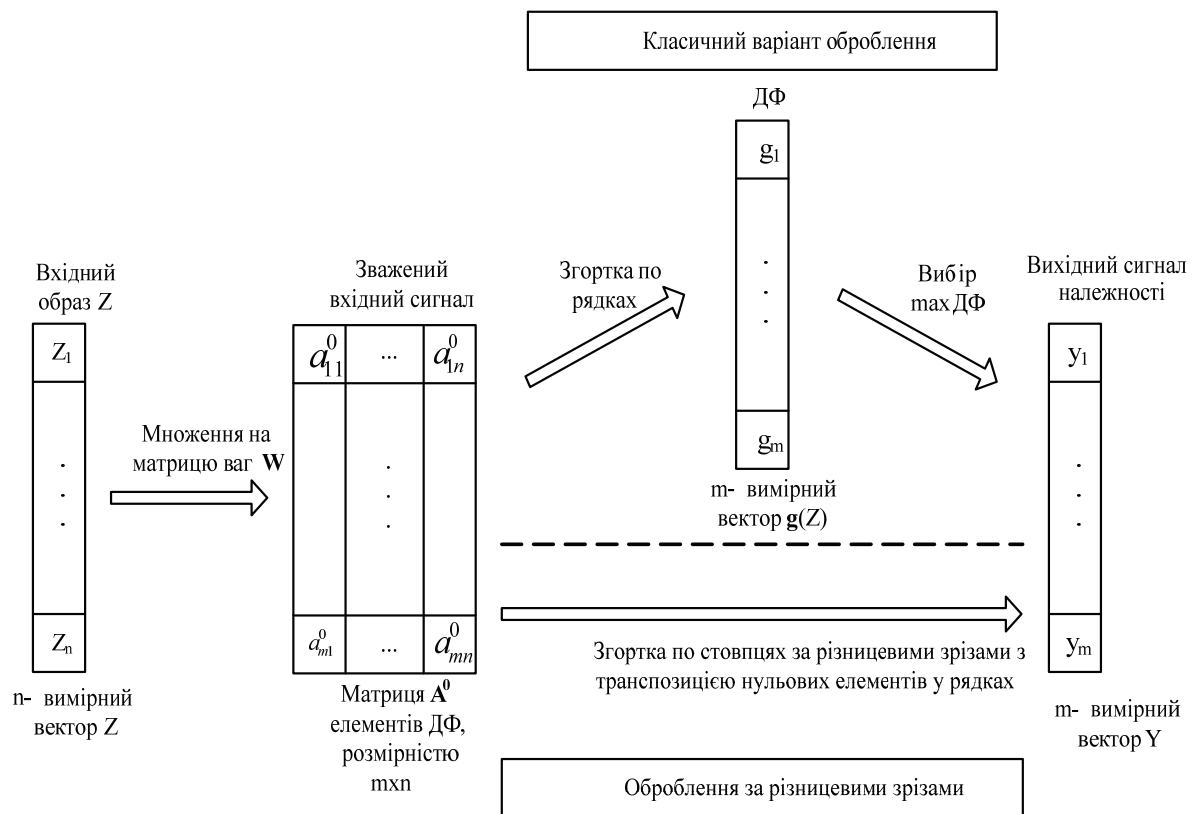


Рис. 2. Перетворення в процесі класифікації за ДФ

Однаковою частиною в цьому процесі є формування з вхідного вектора $Z = \{z_1, \dots, z_n\}$ та матриці ваг W ($m \times n$)-вимірної матриці A^0 значень елементів ДФ. В подальшому виконується оброблення елементів матриці A^0 з формуванням результуючого вектора Y , в якому одиничне значення приймає i -й елемент, що відповідає i -му класу.

Суть методу з обробленням за РЗ полягає в тому, що послідовно у кожному t -му циклі оброблення всі однойменні елементи стовпців матриці A^{t-1} зменшуються на загальну компоненту (загальний складник серед всіх елементів у стовпці, що додатні і не дорівнюють нулю), тобто у кожному циклі формуються РЗ всіх елементів стовпців відповідної матриці A^{t-1} [7]. Разом з тим, можливе накопичення отриманих загальних компонент у кожному циклі, що дозволяє після завершення оброблення сформувати суму елементів початкової матриці A^0 , тобто величини ДФ $g_1(Z), \dots, g_m(Z)$ [8].

Крім того, в процесі оброблення елементів матриці A^0 також можливе порівняння сум елементів ДФ з порогом класифікації Θ , який може бути спільним для всіх класів або ж заданий для кожного класу окремо Θ_i (1).

Отже, метод класифікації образів за ДФ з обробленням за РЗ може бути реалізований з виключенням шару суматорів (рис. 1), крім того апаратна реалізація блока вибору максимальної за величиною ДФ буде інша, яка реалізує не підсумовування, а формує РЗ [7].

Мета роботи полягає в тому, щоб на прикладі можливих варіантів побудови класифікатора образів показати переваги класифікації з використанням ДФ з обробленням двовимірних вхідних даних за РЗ.

Алгоритм класифікації образів за ДФ з обробленням за РЗ

Початковими даними є: вхідний образ Z у вигляді n -вимірного вектора $Z = (z_1, \dots, z_n)$; матриця ваг $W = |w_{ij}|$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$; m -вимірний вихідний вектор $Y = (y_1, \dots, y_m)$, причому

$y_i = 0$; матриця елементів ДФ $g_i(Z)$ вигляду:

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{1,1}^0 & \cdots & a_{1,j}^0 & \cdots & a_{1,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^0 & \cdots & a_{i,j}^0 & \cdots & a_{i,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^0 & \cdots & a_{m,j}^0 & \cdots & a_{m,n}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

причому, $a_{ij}^0 = w_{ij} \cdot z_j$,

де w_{ij} – відповідний елемент матриці ваг W ; z_j – j -й компонент вхідного вектора Z ; A_i^0 – i -й рядок матриці A^0 , складений з елементів j -ї ДФ $g_i(Z)$, який в подальшому розглядається як i -й масив чисел.

Алгоритм класифікації образів з обробленням за РЗ має такий вигляд [9].

Крок 1. У кожному стовпці матриці A^{t-1} , починаючи з матриці A^0 , виконують визначення мінімального елемента вигляду

$$\min_j^{t-1} = \min_i a_{i,j}^{t-1}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, N}, \quad (3)$$

в подальшому поіменованого як мінелемент, де N – кількість циклів оброблення. В результаті формують вектор-рядок з n мінелементів вигляду

$$\text{Min}^{t-1} = (\min_1^{t-1}, \dots, \min_j^{t-1}, \dots, \min_n^{t-1}). \quad (4)$$

Крок 2. У кожному t -му циклі виконують паралельне віднімання j -го мінеlementsа від кожного i -го елемента відповідного j -стовпця матриці A^{t-1} і формують неупорядковану матрицю \bar{A}^t вигляду

$$\bar{A}^t = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \cdots & \bar{a}_{1,j}^t & \cdots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \cdots & \bar{a}_{i,j}^t & \cdots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \cdots & \bar{a}_{m,j}^t & \cdots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix}, \quad (5)$$

причому,

$$\bar{a}_{i,j}^t = a_{i,j}^{t-1} - \min_j^{t-1}. \quad (6)$$

Одночасно з цим можна виконати віднімання суми мінеlementsів вектор-рядка Min^{t-1} (4) від порогу Θ класифікації з формуванням поточного порогу Δ_t класифікації вигляду

$$\Delta_t = \Delta_{t-1} - \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad t = \overline{1, N}, \quad (7)$$

де $\Delta_0 = \Theta$, а в режимі навчання (адаптації) за необхідністю можна виконати підсумовування мінеlementsів вектор-рядка Min^{t-1} (4) з формуванням поточної суми

$$S_t = \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad (8)$$

та накопичення поточних сум вигляду

$$S^t = S^{t-1} + S_t, \quad (9)$$

де $S^0 = 0$.

Крок 3. Перевірка умови появи поточного нульового рядка

$$\exists A_k^t = 0, \quad k = \overline{1, m}, \quad (10)$$

умови нульового поточного порогу

$$\Delta_t \leq 0 \quad (11)$$

та умови наявності m нульових рядків, тобто

$$\bar{A}_1^t = \dots = \bar{A}_i^t = \dots = \bar{A}_m^t = 0, \quad t = \overline{1, N}. \quad (12)$$

Виконання умови (10) свідчить про те, що у деякому циклі t у двовимірній матриці \bar{A}^t (5) з'являється деякий k -й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на k -й масив чисел A_k^0 (2) ($k = \overline{1, m}$), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$. В цьому випадку накопичена сума S^t (9) дорівнює сумі елементів масиву A_k^0 , тобто $A_k^0 = g_k(Z)$.

Нульовий k -й рядок в подальшому обробленні участі не приймає і значення його елементів не беруть до уваги при визначенні мінеlementів кожного стовпця матриці \bar{A}^t (5).

На початку оброблення підсумковий сигнал, як результат порівняння з порогом Θ , має вигляд

$$p = 0, \quad (13)$$

який встановлюється в одиничне значення за умови виконання (11).

Якщо умова (11) не виконується, то підсумковий сигнал зберігає нульове значення, що свідчить про те, що масив A_k^0 менший за поріг Θ класифікації, при цьому цей масив виключається з подальшого оброблення.

За виконання умови (12) оброблення закінчують (перехід до кроку 5).

В цьому випадку результатом оброблення є останній рядок A_l^N , який має нульові елементи за умови, що решта рядків були виключені з оброблення як нульові, тобто матриця має вигляд

$$\bar{A}^N = \begin{pmatrix} - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & & & \\ - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & & & \\ \bar{a}_{l,1}^N & \dots & \bar{a}_{l,j}^N & \dots & \bar{a}_{l,n}^N \\ \vdots & & & & \\ - & \dots & - & \dots & - \end{pmatrix} \quad l\text{-й рядок}, \quad (14)$$

де $\bar{a}_{l,j}^N = 0, \quad j = \overline{1, n}$.

Цей рядок матриці \bar{A}^N вказує на деякий l -й масив чисел A_l^0 ($l = \overline{1, m}$), який є максимальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів чисел $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$. Сума елементів l -го рядка сформована і має вигляд

$$S_l = g_l(Z) = \max g_i(Z), \quad (15)$$

Крок 4. Для всіх рядків матриці \bar{A}^t (5) паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю A^t , яка має вигляд:

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^t & \cdots & a_{1,j}^t & \cdots & a_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^t & \cdots & a_{i,j}^t & \cdots & a_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^t & \cdots & a_{m,j}^t & \cdots & a_{m,n}^t \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Перехід до кроку 1.

Крок 5. Формується вихідний вектор $Y = (y_1, \dots, y_m)$, в якому тільки один елемент y_l дорівнює одиниці, а всі інші дорівнюють нулю, що дозволяє визначити належність вхідного образу Z до l -го класу.

Функціональні можливості методу різницевого зрізів та їх схемотехнічна реалізація

Блок класифікації складається з таких вузлів: обчислювального блока, вузла аналізу та вузла оброблення (рис. 3) [8, 10, 11].

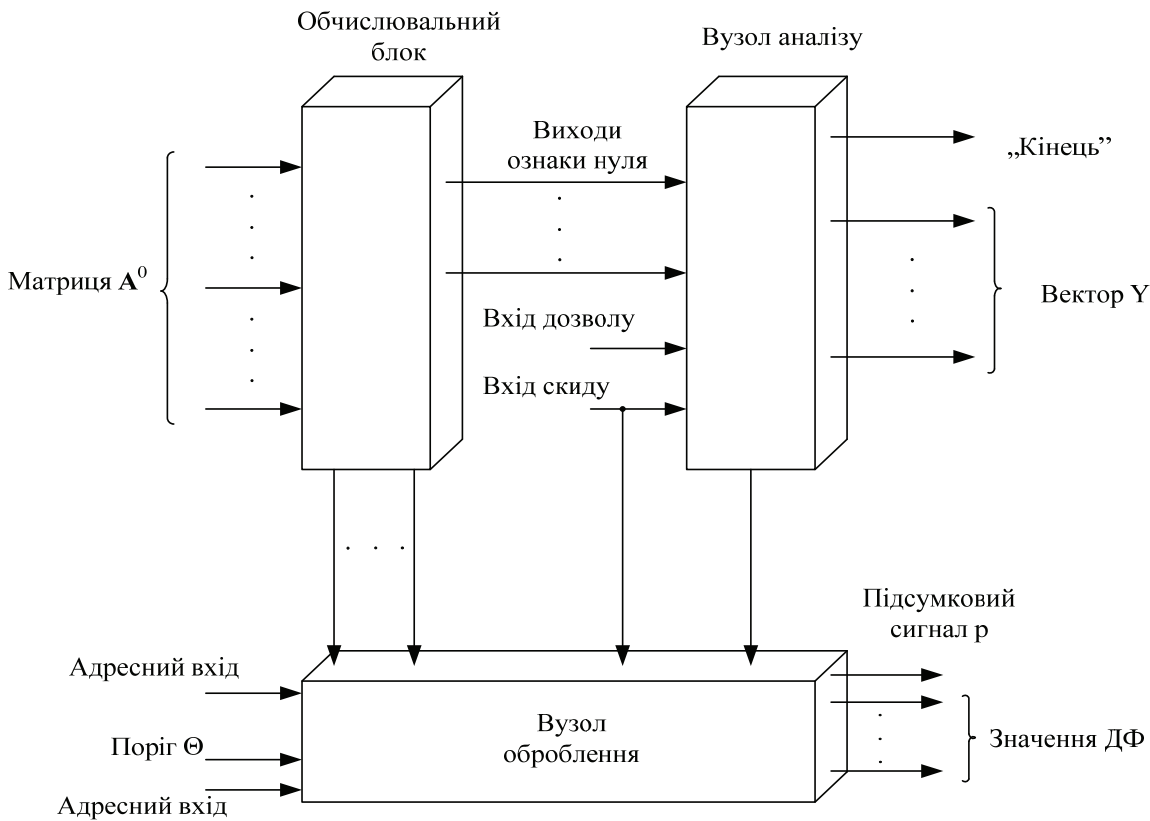


Рис. 3. Структурна схема блока класифікації

В обчислювальному блоці виконується ітераційний процес оброблення елементів матриці A^0 , в якій кожний рядок розглядають як масив A_i^0 (2) зважених даних, а саме виконуються перетворення (3)–(5), (16). Вузол аналізу відповідає за формування вихідного вектор $Y = (y_1, \dots, y_m)$. Вузол оброблення виконує порівняння сум мінеlementів з порогом класифікації (7), формування поточних сум (8) та накопичення поточних сум мінеlementів (9).

На основі структурної схеми блока класифікації розроблено функціональну схему його вузлів: вузла аналізу та вузла оброблення [8, 12, 13]. Дана функціональна реалізація дозволяє виконувати класифікацію вхідних даних з паралельним урахуванням порогу класифікації та

визначення сум елементів відповідних масивів зважених даних, що може бути використано для формування вагових коефіцієнтів в процесі навчання (рис. 4).

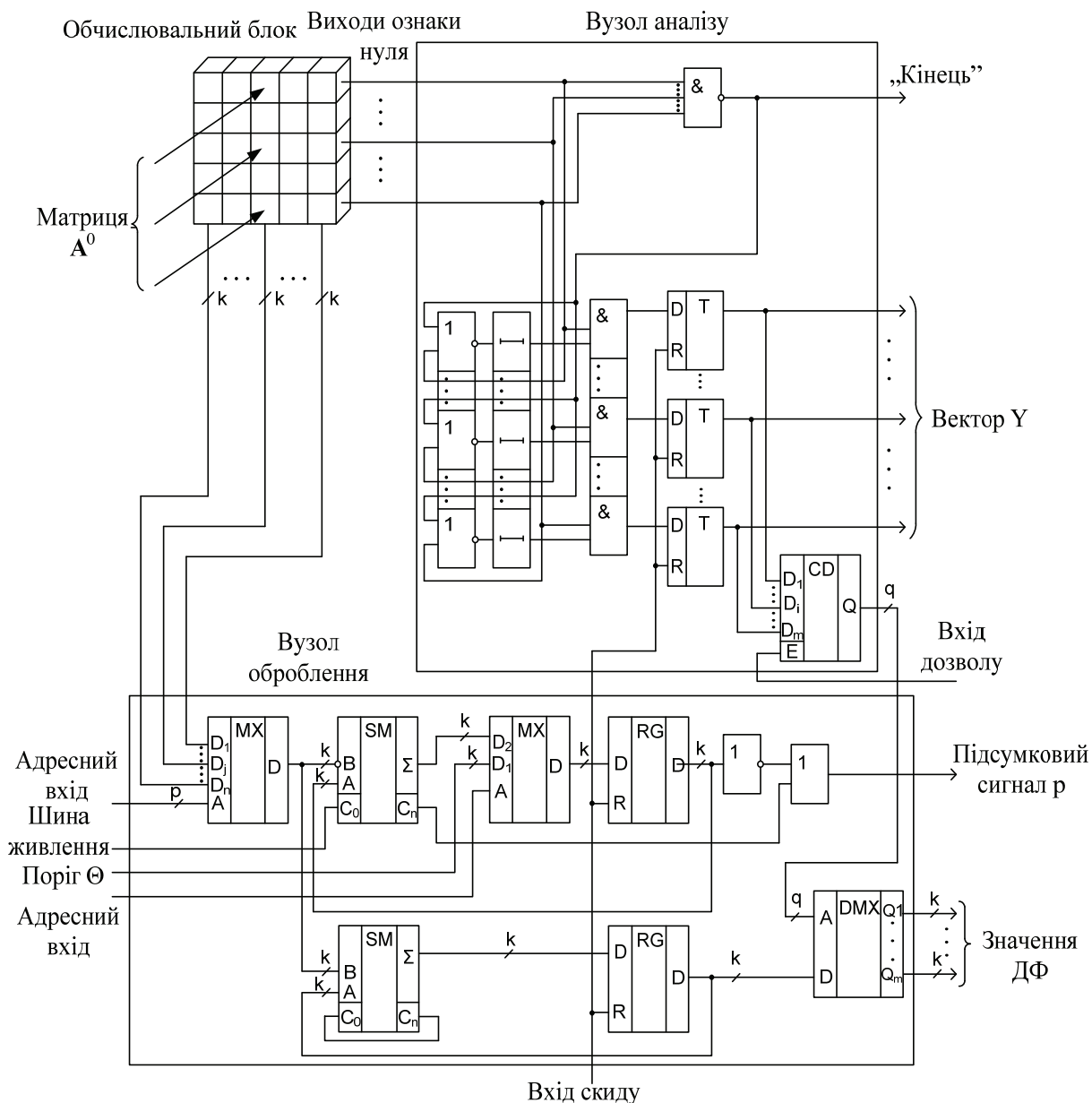


Рис. 4. Функціональна схема блока класифікації

Окрім наведеної (рис. 4) функціональної схеми вузлів блока класифікації є ще інша модифікація, яка дозволяє виконувати класифікацію вхідних даних з паралельним урахуванням порогів для кожного класу [14]. Функціональну схему цієї модифікації наведено на рис. 5.

В цьому варіанті реалізації мультиплексор винесений з блоків як загальна частина.

На рис. 6 показано приклад процесу класифікації по циклах з використанням оброблення елементів матриць A^t за РЗ [8]. Початковими даними є вхідний образ у вигляді вектора його ознак розмірністю $n = 4$ $Z = (5 \ 3 \ 6 \ 4)$ та матриця вагових коефіцієнтів розмірністю $m \times n = 4 \times 4$ вигляду

$$W = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 1 & 5 \\ 2 & 7 & 5 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 7 \end{pmatrix}$$

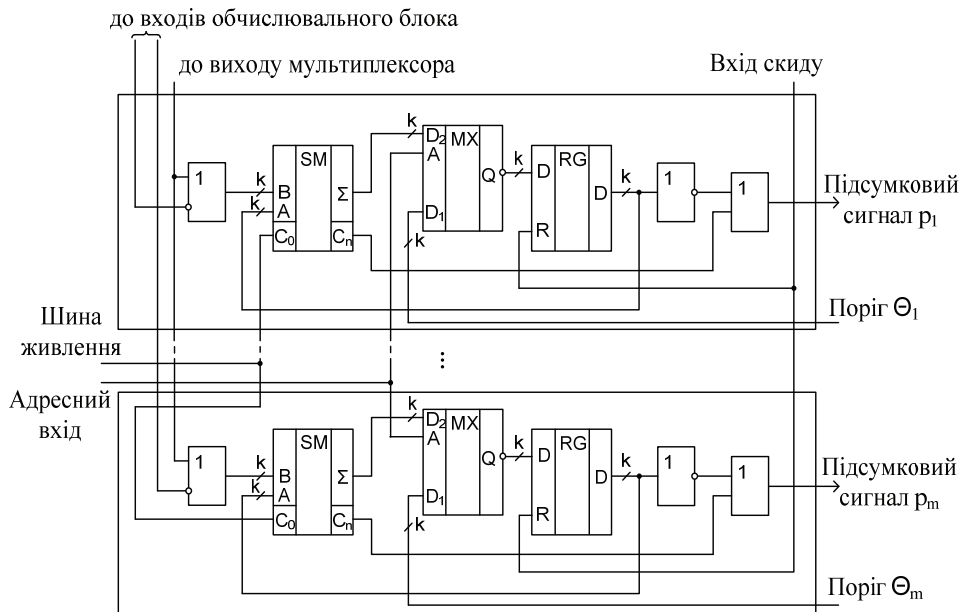


Рис. 5. Функціональна схема вузла оброблення з урахуванням порогів класифікації для кожного класу

<p>Цикл 1</p> $A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 18 & 12 & 8 \\ 20 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 21 & 30 & 4 \\ 15 & 6 & 24 & 28 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^0 = (10 \ 6 \ 6 \ 4)$ $s_1 = 26$ $\Delta_1 = 65 - 26 = 39$ $s^1 = 0 + 26 = 26$	<p>Цикл 2</p> $A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 12 & 6 & 4 \\ 10 & 3 & 16 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \\ 5 & 18 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^1 = (5 \ 3 \ 0 \ 0)$ $s_2 = 8$ $\Delta_2 = 39 - 8 = 31$ $s^2 = 26 + 8 = 34$	<p>Цикл 3</p> $A^2 = \begin{pmatrix} 10 & 9 & 6 & 4 \\ 5 & 16 & 0 & 0 \\ 10 & 21 & 0 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^2 = (5 \ 9 \ 0 \ 0)$ $s_3 = 14$ $\Delta_3 = 31 - 14 = 17$ $s^3 = 34 + 14 = 48$	<p>Цикл 4</p> $A^3 = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 4 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 12 & 0 & 0 \\ 10 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^3 = (5 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_4 = 5$ $\Delta_4 = 17 - 5 = 12$ $s^4 = 48 + 5 = 53$
<p>Цикл 5</p> $A^4 = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^4 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_5 = 2$ $\Delta_5 = 12 - 2 = 10$ $s^5 = 53 + 2 = 55 (S_2^0)$	<p>Цикл 6</p> $A^5 = \begin{pmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^5 = (3 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_6 = 3$ $\Delta_6 = 10 - 3 = 7$ $s^6 = 55 + 3 = 58$	<p>Цикл 7</p> $A^6 = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^6 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_7 = 1$ $\Delta_7 = 7 - 1 = 6$ $s^7 = 58 + 1 = 59$	<p>Цикл 8</p> $A^7 = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 6 & 0 & 0 & 0 \\ 14 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^7 = (4 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_8 = 4$ $\Delta_8 = 6 - 4 = 2$ $s^8 = 59 + 4 = 63 (S_1^0)$
<p>Цикл 9</p> $A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^8 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_9 = 2$ $\Delta_9 = 2 - 2 = 0$ $s^9 = 63 + 2 = 65 (S_3^0)$	<p>Цикл 10</p> $A^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 8 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^9 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_{10} = 8$ $\Delta_{10} = 0 - 8 = -8$ $s^{10} = 65 + 8 = 73 (S_4^0)$	<p>Результати оброблення матриці A^0</p> $Y = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ $s_1^0 = 63$ $s_2^0 = 55$ $s_3^0 = 65$ $s_4^0 = 73$	

Рис. 6. Приклад оброблення двовимірної матриці A^0 за РЗ по циклах

Після виконання множення вагових коефіцієнтів на елементи вхідного образу, початкова двовимірна матриця A^0 має вигляд

$$A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 18 & 12 & 8 \\ 20 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 21 & 30 & 4 \\ 15 & 6 & 24 & 28 \end{pmatrix}.$$

Поріг класифікації при цьому дорівнює $\Theta = 65$.

В цьому прикладі показано десять циклів оброблення, де наведено: початкова матриця A^0 (на першому циклі); впорядкована матриця (починаючи з другого циклу), яка отримана в результаті віднімання мінеlementів від відповідних елементів початкової матриці (крок 2 алгоритму) та транспозиції елементів з просуванням всіх нульових елементів праворуч (крок 4 алгоритму); визначені мінеlementи для кожного циклу $\text{Min}^0 - \text{Min}^9$; поточні суми визначених мінеlementів для кожного циклу $s_1 - s_{10}$; поточні пороги $\Delta_1 - \Delta_{10}$ та накопичені поточні суми $s^1 - s^{10}$. В результаті оброблення отримано вихідний вектор Y , в якому останній одиничний елемент вказує на те що останній рядок матриці є максимальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів чисел, а також отримано суми кожного рядка початкової матриці.

Висновки

1. Розглянуто метод класифікації образів за ДФ з обробленням даних за РЗ, який дозволяє відмовитись від накопичення ДФ, оскільки недоліком класичного методу є те, що визначення максимальної ДФ виконується звичайним підсумовуванням елементів ДФ з подальшим визначенням максимальної серед них.

2. Наведено алгоритм класифікації образів за ДФ з обробленням за РЗ, який складається з п'яти кроків. В результаті вже на другому кроці отримано вектор-рядок мінеlementів, який дає можливість виконати порівняння з порогом класифікації, а при необхідності накопичувати суми мінеlementів з формуванням поточних сум.

3. Вдосконалено структурну організацію блока класифікації, який відрізняється від відомих тим, що має матричну структуру для оброблення елементів ДФ, а також вузли аналізу і оброблення. Це дозволяє розширити область застосування класифікатора за рахунок оброблення масивів даних за РЗ з паралельним урахуванням величини порогу класифікації та формування сум елементів відповідних масивів зважених даних, що може бути використано для формування вагових коефіцієнтів в процесі навчання. Отже, наведені функціональні рішення щодо організації основних вузлів блока класифікації дозволили розширити його функціональні можливості за рахунок оброблення за різницевиими зрізами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Юнкеров В. И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В. И. Юнкеров, С. Г. Григорьев — СПб. : ВМедА, 2002. — 266 с. — ISBN 5-94277-011-5.
2. Бернюков А. К. Распознавание биоэлектрических сигналов / А. К. Бернюков, Л. Т. Сушкова // Зарубежная радиоэлектроника. — 1996. — № 12. — С. 47—51.
3. Горелик А. Л. Методы распознавания : учебн. пос. для вузов / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. — М. : Высш. школа, 1989. — 232 с. — ISBN 5-06-000459-7.
4. Мартинюк Т. Б. Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації / Т. Б. Мартинюк. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 216 с. — ISBN 966-7199-98-3.
5. Мартинюк Т. Б. Ущільнення даних при класифікації за дискримінантними функціями / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, О. М. Гуцол, Ю. О. Панасюк // Методи та засоби кодування, захисту і ущільнення інформації : друга міжнар. наук.-практ. конф., 27 — 30 травня 2009 р. : тези доп. — Вінниця, 2009. — С. 159—160.
6. Мартинюк Т. Б. Розпізнавання біомедичних сигналів за дискримінантними функціями / Т. Б. Мартинюк, О. М. Гуцол, М. В. Васильська // PHOTONICS-ODS 2008: IV між нар. наук. конф., 30 вересня — 2 жовтня 2008 р. : тези доп. — Вінниця, 2008. — 57 с.

7. Мартинюк Т. Б. Паралельний метод класифікації біоелектричних сигналів за принципом різницевого зрізів / Т. Б. Мартинюк, С. В. Павлов, Ж. О. Бітюкова, Н. В. Белік // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2004. — № 2(8). — С. 102—112.

8. Патент України № 92682, МПК⁸ G06K 9/00. Пристрій для розпізнавання образів / Т. Б. Мартинюк, К. Ю. Кутаєв, Л. І. Тимченко, О. М. Гуцол; заявники та патентовласники Т. Б. Мартинюк, К. Ю. Кутаєв, Л. І. Тимченко, О. М. Гуцол. — № a200904457; заявл. 05.05.2009; опубл. 25.11.2010, Бюл. № 22.

9. Мартинюк Т. Б. Оброблення даних за різницевиими зрізами для класифікації сигналів / Т. Б. Мартинюк, А. Г. Буда, О. М. Гуцол, Ю. О. Панасюк // Системний аналіз та інформаційні технології : XI міжнар. наук.-техн. конф., 26—30 травня 2009 р. : матеріали. — К. : ППК «ПСА» НТУУ «КПІ», 2009. — 515 с.

10. Патент України № 38497, МПК⁸ G06K 9/00. Пристрій для розпізнавання образів / Т. Б. Мартинюк, Д. Ю. Левандовський, О. М. Гуцол; заявник та патентовласник ВНТУ. — № u200810087; заявл. 04.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

11. Мартинюк Т. Б. Нейромережний класифікатор сигналів / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко О. М. Гуцол // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009) : IV міжнар. наук. конф., 8—10 жовтня 2009 р. : матеріали. — Вінниця, 2009. — 56 с.

12. Патент України № 34128, МПК⁸ G06K 9/00. Пристрій для класифікації образів / Т. Б. Мартинюк, О. М. Кравченко, М. В. Топчанюк, О. М. Гуцол; заявник та патентовласник ВНТУ — № u200803609; заявл. 21.03.2008; опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.

13. Патент України № 38907, МПК⁸ G06K 9/00. Пристрій для класифікації образів / Т. Б. Мартинюк, О. М. Гуцол, О. В. Гаврилюк, М. В. Васильська; заявник та патентовласник ВНТУ — № u200810062; заявл. 04.08.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

14. Патент України № 38507, МПК⁸ G06K 9/00. Пристрій для класифікації образів / Т. Б. Мартинюк, О. М. Гуцол, О. В. Гаврилюк; заявник та патентовласник ВНТУ. — № u200810039; заявл. 04.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптоелектронної техніки

Стаття надійшла до редакції 22.03.12

Рекомендована до друку 23.04.12

Мартинюк Тетяна Борисівна — доцент, **Дорощенко Геннадій Дмитрович** — доцент, **Гуцол Олександр Михайлович** — аспірант.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця