



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24622 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G06K 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБРАЗІВ

1

(21) u200701228

(22) 05.02.2007

(24) 10.07.2007

(46) 10.07.2007, Бюл. № 10, 2007 р.

(72) Мартинюк Тетяна Борисівна, Бітюкова Жанна  
Олексіївна, Топчанюк Максим Володимирович(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1. Пристрій для класифікації образів, який містить блок зважування та обчислювальний блок, який **відрізняється** тим, що додатково містить групу  $m$  вузлів рангу, де  $m$  - кількість класів класифікації образів, групу  $m$  елементів  $l$  та вузол аналізу, який містить лічильник і елемент АБО, перша група входів блока зважування з'єднана з  $n$  входами  $n$ -вимірного образу у вигляді вхідного векторного масиву даних, друга група  $m \times n$  входів з'єднана з ваговою матрицею коефіцієнтів, а  $m \times n$  виходи з'єднані з відповідними входами комірок обчислювального блока, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного  $i$ -го рядка якого з'єднані з входами  $i$ -го елемента  $l$  групи  $m$  елементів  $l$ , вихід якого є виходом ознаки нуля  $i$ -го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з входом  $i$ -го вузла рангу групи  $m$  вузлів рангу та з входом заборони комірок  $i$ -го рядка обчислювального блока, група  $m$  виходів ознаки групи  $m$  вузлів рангу підключена до першої групи входів вузла аналізу, входи елемента АБО вузла аналізу з'єднані з першою групою входів вузла аналізу, а вихід підключений до входу зворотної лічби лічильника вузла аналізу, інформаційні входи якого з'єднані з

2

другою групою входів вузла аналізу, яка є групою  $k$  установних входів пристрою, де  $k = \log_2 m$ , вхід скиду лічильника вузла аналізу з'єднаний з входом початкового стану пристрою, а його вихід ознаки нуля є виходом вузла аналізу, який є виходом сигналу "Кінець" пристрою, крім того, вихід елемента АБО є виходом дозволу вузла аналізу, який з'єднаний з відповідним входом групи  $m$  вузлів рангу, установний вхід яких з'єднаний з входом початкового вектора рангів пристрою, вхід початкового стану з'єднаний з входом початкового стану пристрою, а їх  $k$ -розрядний вихід є виходом відповідного рангу.

2. Пристрій для класифікації образів за п. 1, який **відрізняється** тим, що  $i$ -тий вузол рангу,  $i = 1, m$ , містить RS-тригер, лічильник, елемент НІ, два елемента І, причому S-вихід RS-тригера з'єднаний з входом скиду лічильника і входом початкового стану  $i$ -го вузла рангу, а R-вихід RS-тригера з'єднаний з входом елемента НІ, з входом  $i$ -го вузла рангу  $i$  з першим входом першого елемента І, другий вхід якого з'єднаний з прямим виходом RS-тригера, вихід першого елемента І є виходом ознаки  $i$ -го вузла рангу, а вихід елемента НІ з'єднаний з першим входом другого елемента І, другий вхід якого з'єднаний з входом дозволу  $i$ -го вузла рангу, а вихід з'єднаний з входом прямої лічби лічильника, установний вхід якого з'єднаний з установним входом  $i$ -го вузла рангів, а інформаційні входи лічильника є  $k$ -розрядним виходом рангу  $i$ -го вузла рангу, де  $k = \log_2 m$ .

Корисна модель відноситься до автоматичної та обчислювальної техніки і може бути використана в адаптивних системах класифікації, розпізнавання, діагностики, ідентифікації, прогнозування та керування.

Відомий класифікуючий пристрій [а. с. СРСР №371596, кл. G06K9/00 1973 р., бюл. №12], який містить багат шарову сітку лінійних дискримінаторів, які містять помножувальні блоки та суматори, в якому одні входи помножувальних блоків лінійних дискримінаторів кожного наступного шару

з'єднані з вхідними клемми пристрою, а інші - з виходами лінійних дискримінаторів попереднього шару.

Недоліком даного пристрою є вузька область застосування через те, що він реалізує дискримінаційні функції будь-якого порядку і може бути використаний тільки для класифікації образів.

Найбільш близьким за технічною суттю є пристрій для розпізнавання образів [а. с. СРСР №369592, кл. G06K9/00, 1973 р., бюл. №10], який містить блок порогових елементів і послідовно

(13) U

(11) 24622

(19) UA

з'єднані блок зважування, суматор і обчислювальний блок, а також блок поліноміальних перетворювачів, одні з входів якого підключені до виходів блока порогових елементів, а виходи - до входів блока зважування, блок упорядкування навчаючих сигналів, входи якого підключені до виходів блока порогових елементів, а виходи - до других входів блока поліноміальних перетворювачів, та блок формування цілочисельних ваг, входи якого з'єднані з виходом суматора і відповідними виходами блока упорядкування навчаючих сигналів, а виходи - з керуючими входами блока зважування.

Недоліком цього пристрою є вузька область застосування через те, що він пристосований для класифікації образів без сортування отриманих сум елементів векторних масивів зважених даних з формуванням їхніх рангів.

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою для класифікації образів, в якому за рахунок введення нових блоків та вузлів досягається можливість розширення області його застосування за рахунок можливості виконання не тільки класифікації образів у вигляді векторних масивів даних, але й одночасного сортування векторних масивів зважених елементів з формуванням їхніх рангів за сумою елементів цих масивів, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для класифікації образів, який містить блок зважування та обчислювальний блок, введено групу  $m$  вузлів рангу, де  $m$  - кількість класів класифікації образів, групу  $m$  елементів  $l$  та вузол аналізу, який містить лічильник і елемент АБО, перша група входів блока зважування з'єднана з  $n$  входами  $n$ -вимірного образу у вигляді вхідного векторного масиву даних, друга група  $m \times n$  входів з'єднана з ваговою матрицею коефіцієнтів, а  $m \times n$  виходи з'єднані з відповідними входами комірок обчислювального блока, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного  $i$ -го рядка якого з'єднані з входами  $i$ -го елемента  $l$  групи  $m$  елементів  $l$ , вихід якого є виходом ознаки нуля  $i$ -го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з входом  $i$ -того вузла рангу групи  $m$  вузлів рангу та з входом заборони комірок  $i$ -го рядка обчислювального блока, група  $m$  виходів ознаки групи  $m$  вузлів рангу підключена до першої групи входів вузла аналізу, входи елемента АБО вузла аналізу з'єднані з першою групою входів вузла аналізу, а вихід підключений до входу зворотної лічби лічильника вузла аналізу, інформаційні входи якого з'єднані з другою групою входів вузла аналізу, яка є групою  $k$  установних входів пристрою, де  $k = \log_2 m$ , вхід скиду лічильника вузла аналізу з'єднаний з входом початкового стану пристрою, а його вихід ознаки нуля є виходом вузла аналізу, який є виходом сигналу "Кінець" пристрою, крім того, вихід елемента АБО є виходом дозволу вузла аналізу, який з'єднаний з відповідним входом групи  $m$  вузлів рангу, установний вхід яких з'єднаний з входом початкового вектора рангів пристрою, вхід початкового стану з'єднаний з входом початкового стану пристрою, а їх  $k$ -розрядний вихід є виходом відповідного рангу.

На Фіг.1 зображена блок-схема пристрою для

класифікації образів у вигляді векторних масивів даних; на Фіг.2 представлено функціональну схему вузла рангу.

Пристрій для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних (Фіг.1) містить блок 1 зважування зі входами  $2_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) для елементів  $n$ -вимірного образу у вигляді вхідного векторного масиву даних  $Z$  і входами  $3_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) для коефіцієнтів  $w_{ij}$ , які утворюють вагову матрицю  $W$  розмірністю  $(m \times n)$ . Виходи  $4_{ij}$  блока 1 зважування з'єднані з входами 5 у відповідних комірок обчислювального блока 6, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного  $i$ -го рядка якого з'єднані з входами  $i$ -го елемента  $l$  групи елементів  $l$   $7_{1, \dots, 7_m}$ , вихід якого є виходом ознаки нуля  $i$ -го масиву зважених елементів ( $i = \overline{1, m}$ ) і з'єднаний з входом  $8_i$   $i$ -го вузла рангу 9, групи вузлів рангу  $9_{1, \dots, 9_m}$  і з входом 10; заборони комірок  $i$ -го рядка обчислювального блока 6.

Група виходів  $11_{1, \dots, 11_m}$  ознаки відповідної групи вузлів рангів  $9_{1, \dots, 9_m}$  підключена до першої групи входів вузла 12 аналізу, який містить лічильник 13 і елемент АБО 14, входи якого з'єднані з першою групою входів вузла 12 аналізу, а вихід підключений до входу зворотної лічби лічильника 13, інформаційні входи якого з'єднані з другою групою входів  $15_{1, \dots, 15_k}$  вузла 12 аналізу ( $k = \log_2 m$ ), які є групою установних входів пристрою, вхід скиду з'єднаний з входом 16 початкового стану пристрою, а його вихід ознаки нуля є виходом 17 вузла 12 аналізу, який є виходом сигналу "Кінець" пристрою. Крім того, вихід елемента АБО 14 є виходом 18 дозволу вузла 12 аналізу, який з'єднаний з відповідним входом всіх вузлів рангу  $9_{1, \dots, 9_m}$ , установний вхід яких з'єднаний з входом 19 початкового вектора рангів пристрою, вхід початкового стану з'єднаний з входом 16 початкового стану пристрою, а їх  $k$ -розрядний вихід є виходом 20, рангу.

Вузол рангу  $9_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  (Фіг.2) містить RS-тригер 21, лічильник 22, елемент НІ 23, елементи  $l$  24, 25. S-вхід RS-тригера 21 з'єднаний з входом скиду лічильника 22 і з входом початкового стану вузла рангу  $9_i$ , а отже, з входом 16 початкового стану пристрою, а R-вхід RS-тригера 21 з'єднаний з входом елемента НІ 23, з входом  $8_i$  вузла рангу  $9_i$  і з першим входом елемента  $l$  25, другий вхід якого з'єднаний з прямим виходом RS-тригера 21. Вихід елемента  $l$  25 є виходом  $11_i$  ознаки вузла рангу  $9_i$ , а вихід елемента НІ 23 з'єднаний з першим входом елемента  $l$  24, другий вхід якого з'єднаний з входом 18 дозволу вузла рангу  $9_i$ , а вихід з'єднаний з входом прямої лічби лічильника 22. Установний вхід лічильника 22 з'єднаний з установним входом вузла рангу  $9_i$ , а отже, з входом 19 початкового вектора рангів пристрою, а інформаційні входи лічильника 22 є  $k$ -розрядним виходом 20, рангу вузла рангу  $9_i$ .

Класифікацію образів у вигляді векторних масивів даних виконують таким чином. Спочатку встановлюють у нульовий стан лічильник 13 вузла 12 аналізу і у початковий стан групу вузлів рангу  $9_{1, \dots, 9_m}$  по сигналу на вході 16 початкового стану пристрою (Фіг.1). При поданні на входи  $2_j$  ( $j = \overline{1, n}$ )

блока 1 зважування вхідного образу у вигляді векторного масиву виду

$$Z = (z_1, \dots, z_j, \dots, z_n), \quad (1)$$

а на його входи  $Z_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) вагової матриці  $W$ , рядки елементів (коефіцієнтів) якої визначають певний клас образів, виду

$$W = \begin{pmatrix} w_{1,1} & \dots & w_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{i,1} & \dots & w_{i,n} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{m,1} & \dots & w_{m,n} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

він виконує векторно-матричне перемноження. В результаті на його виходах  $4_{ij}$  формують елементи векторних масивів зважених елементів виду:

$$A_i^0 = (a_{i,1}^0 \dots a_{i,j}^0 \dots a_{i,n}^0), \quad i = \overline{1, m} \quad (3)$$

які записують у відповідні комірки обчислювального блока 6 по його входах  $5_{ij}$ .

Одночасно у лічильник 13 вузла 12 аналізу записують величину  $(m-1)$ , яка подається у двійковому коді по входах  $15_1, \dots, 15_k$  вузла 12 аналізу ( $k = \log_2 m$ ), а у групу вузлів рангу  $9_1, \dots, 9_m$  по відповідному входу 19 пристрою записують початковий вектор рангів  $R^0 = \{r_1 \dots r_m\}$  масивів  $A_1^0, \dots, A_m^0$ , всі елементи  $r$ , якого дорівнюють одиниці, тобто  $R^0 = (1 \dots 1 \dots 1)$ . (4)

Сукупність векторних масивів  $A_i^0$  в обчислювальному блоці 6 подають у вигляді двовимірної

$$\overline{A}^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^{t-1} - \min_1^{t-1} & \dots & a_{1,j}^{t-1} - \min_j^{t-1} & \dots & a_{1,n}^{t-1} - \min_n^{t-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^{t-1} - \min_1^{t-1} & \dots & a_{i,j}^{t-1} - \min_j^{t-1} & \dots & a_{i,n}^{t-1} - \min_n^{t-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^{t-1} - \min_1^{t-1} & \dots & a_{m,j}^{t-1} - \min_j^{t-1} & \dots & a_{m,n}^{t-1} - \min_n^{t-1} \end{pmatrix} \quad (8)$$

або,

$$\overline{A}^t = \begin{pmatrix} \overline{a}_{1,1}^t & \dots & \overline{a}_{1,j}^t & \dots & \overline{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a}_{i,1}^t & \dots & \overline{a}_{i,j}^t & \dots & \overline{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a}_{m,1}^t & \dots & \overline{a}_{m,j}^t & \dots & \overline{a}_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad (9)$$

де

$$\overline{a}_{i,j}^t = a_{i,j}^{t-1} - \min_j^{t-1}, \quad t = \overline{1, N}. \quad (10)$$

Після виконання таких дій в кожному стовпці

отриманої матриці  $\overline{A}^t$  (9) є хоча б один нульовий елемент. Відповідно, в кожному рядку може бути один, декілька, всі або не бути взагалі нульових елементів. Перевіряють умову наявності  $m-1$  нульових рядків, тобто:

матриці розміром  $(m \times n)$ :

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{1,1}^0 & \dots & a_{1,j}^0 & \dots & a_{1,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^0 & \dots & a_{i,j}^0 & \dots & a_{i,n}^0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^0 & \dots & a_{m,j}^0 & \dots & a_{m,n}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $A_i^0$  -  $i$ -й рядок матриці  $A^0$ .

Ітераційний процес оброблення матриці  $A^0$  (5) в обчислювальному блоці 6 має такий вигляд.

Спочатку у кожному стовпці матриці  $A^{t-1}$  ( $t = \overline{1, N}$ ) виконують визначення мінімального елемента, в подальшому поіменованого як мінелемент, виду

$$\min_j^{t-1} = \min_i a_{i,j}^{t-1}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

В результаті формують вектор-рядок з  $n$  мінелементів вигляду:

$$\text{Min}^{t-1} = (\min_1^{t-1}, \dots, \min_j^{t-1}, \dots, \min_n^{t-1}) \quad (7)$$

Потім виконують паралельне віднімання кожного мінеlements  $\min_j^{t-1}$  ( $j = \overline{1, n}$ ) виду (6) від кожного  $i$ -го елемента відповідного  $j$ -го стовпця матриці  $A^{t-1}$  і формують  $t$ -ий різницевий зріз у вигляді неупорядкованої матриці чисел  $\overline{A}^t$  виду:

$$\overline{A}_1^t = \dots = \overline{A}_{i-1}^t = \overline{A}_{i+1}^t = \dots = \overline{A}_m^t = 0, \\ \overline{A}_i^t \neq 0, \quad t = \overline{1, N} \quad (11)$$

Якщо умова (11) виконується, то оброблення закінчують, у протилежному випадку виконують

такі дії. Для всіх рядків матриці  $\overline{A}^t$  (9) паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю  $A^t$ , яка має вигляд:

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^t & \dots & a_{1,j}^t & \dots & a_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^t & \dots & a_{i,j}^t & \dots & a_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^t & \dots & a_{m,j}^t & \dots & a_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad (12)$$

Для отриманої матриці  $A^t$  (12) повторюють цикли оброблення, які складаються з вищезазначеної послідовності дій, починаючи з визначення

мінеlements (6) у кожному стовпці матриці  $A^t$ . У деякому циклі  $t$  у двовимірній матриці  $A^t$  (9) з'являється деякий  $k$ -й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на  $k$ -й масив чисел  $A_k^0$  ( $k \in \overline{1, m}$ ), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів  $A_1^0, \dots, A_m^0$ , тобто:

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} \overline{a_{1,1}^t} & \dots & \overline{a_{1,j}^t} & \dots & \overline{a_{1,n}^t} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{k,1}^t} = 0 & \dots & \overline{a_{k,j}^t} = 0 & \dots & \overline{a_{k,n}^t} = 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{i,1}^t} & \dots & \overline{a_{i,j}^t} & \dots & \overline{a_{i,n}^t} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{m,1}^t} & \dots & \overline{a_{m,j}^t} & \dots & \overline{a_{m,n}^t} \end{pmatrix}$$

- мінімальний масив  $A_k^0$  (13)

де  $\overline{a_{k,j}^t} = 0$ ,  $j \in \overline{1, n}$ .

Цей  $k$ -й нульовий рядок в подальшому обробленні участі не приймає і значення його елементів в подальшому не беруть до уваги при визначенні мінеlements кожного стовпця матриці, тобто:

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} \overline{a_{1,1}^t} & \dots & \overline{a_{1,j}^t} & \dots & \overline{a_{1,n}^t} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{i,1}^t} & \dots & \overline{a_{i,j}^t} & \dots & \overline{a_{i,n}^t} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{m,1}^t} & \dots & \overline{a_{m,j}^t} & \dots & \overline{a_{m,n}^t} \end{pmatrix} \text{ - } k\text{-й}$$

рядок. (14)

Одночасно у векторі рангів  $R^0$  (4) маскують елемент  $r_k$ , що відповідає  $k$ -му нульовому рядку матриці  $\overline{A^t}$  (13), а всі інші елементи вектора рангів збільшують на одиницю, тобто формують вектор рангів виду

$$R^1 = (2 \dots (2 \dots r_k = 1) \dots 2). \quad (15)$$

Кожний наступний нульовий рядок, який з'являється у двовимірній матриці  $\overline{A^t}$  (13), вказує на масив чисел, який є мінімальним за сумою своїх елементів серед тих масивів (відповідних рядків), які ще приймають участь в обробленні. Такий нульовий рядок також виключають, формують новий вектор рангів  $R^1$  з маскуванням і збільшенням на одиницю відповідних його елементів, а оброблення продовжують над тими рядками, які ще мають ненульові елементи.

Оброблення двовимірної матриці  $\overline{A^t}$  (13) триває до тих пір, поки не виконається умова (11) наявності  $m-1$  нульових рядків. Тобто, поки не залишиться один єдиний рядок, який буде містити хоча б один ненульовий елемент, а решта рядків будуть виключені з оброблення як нульові. Матриця  $A^N$  у цьому циклі ( $t=N$ ) буде мати вигляд:

$$A^N = \begin{pmatrix} - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \overline{a_{i,1}^N} & \dots & \overline{a_{i,j}^N} & \dots & \overline{a_{i,n}^N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \dots & - & \dots & - \end{pmatrix}, \quad (16)$$

де серед  $\overline{a_{i,j}^N}$  є щонайменше один ненульовий

елемент, тобто  $\exists \overline{a_{i,j}^N} \neq 0$ . Цей рядок вказує на деякий  $i$ -й масив чисел  $A_i^0$  ( $i \in \overline{1, m}$ ), який є максимальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів чисел  $A_1^0, \dots, A_m^0$ . Одночасно завершується формування вектора рангів  $R^{m-1}$ , всі елементи якого відповідають рангам відповідних масивів чисел у відсортованій послідовності початкових масивів даних  $A_1^0, \dots, A_m^0$ . Величина  $N$  дорівнює кількості циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку максимального за сумою його елементів масиву чисел серед масивів  $A_1^0, \dots, A_m^0$ .

Всі дії, що виконують послідовно у кожному циклі, реалізує обчислювальний блок 6. Виконання

умови  $\overline{a_i^t} = 0$  визначається наявністю одиничного сигналу на виході ознаки нуля  $i$ -го елемента 1  $7_i$  у групі елементів 1  $7_1, \dots, 7_m$ . Цей же сигнал, поданий на вхід 10 $_i$  заборони комірок  $i$ -го рядка обчислювального блока 6, ініціює виключення вмісту цих комірок з подальшого оброблення, а поданий на вхід 8 $_i$  вузла рангу 9 $_i$ , ініціює його маскування, тобто виключення з процесу формування рангів. Отже, на виході 20 $_i$  вузла рангу 9 $_i$  фіксується ранг, що відповідає масиву  $A_i^0$  у відсортованій за зростанням значень сум елементів послідовності початкових масивів даних  $A_1^0, \dots, A_m^0$ . Одночасно всі сигнали з виходів 11 $_1, \dots, 11_m$  ознаки групи вузлів рангу 9 $_1, \dots, 9_m$  подають на входи елемента АБО 14 вузла 12 аналізу і формують одиничний імпульс на його виході тільки у разі появи одиничного сигналу хоча б на одному виході 11 $_1, \dots, 11_m$  ознаки групи вузлів рангу 9 $_1, \dots, 9_m$ , тобто при обнуленні відповідного рядка комірок обчислювального блока 6.

Одиничний імпульс з виходу елемента АБО 14 вузла 12 аналізу подають на вхід зворотної лічби лічильника 13 вузла 12 аналізу, що викликає зменшення на одиницю його вмісту, одночасно цей же сигнал, поданий з виходу 18 дозволу вузла 12 аналізу, викликає збільшення на одиницю рангу в тих вузлах рангу 9 $_1, \dots, 9_m$ , які ще не замасковані. Це відбувається до тих пір, поки вміст лічильника не стане нульовим, тобто буде виконуватись умова (11). Тоді з'явиться одиничний сигнал на його виході ознаки нуля, а отже, на виході 17 вузла 12 аналізу, який є виходом сигналу "Кінець" пристрою. В результаті на  $k$ -розрядних виходах

$20_1, \dots, 20_m$  групи вузлів рангу  $9_1, \dots, 9_m$  зафіксовані ранги  $r_1, \dots, r_m$ , які відповідають відсортованій послідовності початкових масивів даних  $A_1^0, \dots, A_m^0$  за зростанням значень сум їхніх елементів.

Вузол рангу  $9_i$  (Фіг.2) працює таким чином. Спочатку встановлюють у нульовий стан лічильник 22 і в одиничний стан RS-тригер 21 за одиничним сигналом на вході 16 початкового стану пристрою. За одиничним сигналом на установному вході вузла рангу  $9_i$ , який з'єднаний з виходом 19 початкового вектора рангів пристрою, у лічильник 22 записується одиничне значення по його інформаційному входу, яке фіксується на його  $k$ -розрядному виході  $20_i$  рангу.

На початку роботи пристрою на вході  $8_i$  вузла рангу  $9_i$  присутній нульовий сигнал, який проходить через елемент І 25, встановлює нульовий сигнал на виході  $11_i$  ознаки вузла рангу  $9_i$ , а проходячи через елемент НІ 23, фіксує одиничний сигнал на першому вході елемента І 24. Якщо при цьому на другий вхід елемента І 24 підходить одиничний імпульс зі входу 18 дозволу вузла рангу  $9_i$ , то з'являється одиничний імпульс на його виході, який подається на вхід прямої лічби лічильника 22 і збільшує його вміст на одиницю. Отже, за наявності нульового сигналу на вході  $8_i$  з кожною появою одиничного імпульсу на вході 18 дозволу вміст лічильника 22 збільшується на одиницю. Ємність лічильника 22 дорівнює величині  $k = \log_2 m$ , де  $m$  - кількість векторних масивів, отже, у ньому може бути сформовано максимальний ранг кожного з векторних масивів.

Після появи одиничного сигналу на вході  $8_i$ , що відповідає формуванню масиву чисел  $A_i^t$  з нульовими елементами, забороняється процес лічби у лічильнику 22 через наявність нульового сигналу на виході елементів НІ 23, тобто через відсутність появи одиничного імпульсу на виході елемента І 24. Отже, на виході  $20_i$  фіксується остаточний  $k$ -розрядний ранг  $r_i$ , що відповідає масиву чисел  $A_i^0$ . Крім того, скидається у нульовий стан RS-тригер 21, оскільки одиничний сигнал зі

входу  $8_i$  подається на його R-вхід. Але до встановлення нульового сигналу на прямому виході RS-тригера 21 одиничний сигнал зі входу  $8_i$  формує на виході елемента І 25 короткий одиничний сигнал (імпульс), який з'являється на виході  $11_i$  ознаки вузла рангу  $9_i$ . Після появи нульового сигналу на прямому виході RS-тригера 21 на виході елемента І 25, а отже, на виході  $11_i$  ознаки вузла рангу  $9_i$  встановлюється нульовий сигнал, який свідчить про те, що ранг відповідного масиву  $A_i^0$  сформовано у лічильнику 22 вузла рангу  $9_i$ , тобто вузол рангу  $9_i$  маскується.

Розглянемо приклад реалізації класифікації і сортування  $n$ -вимірного образу у вигляді векторних масивів чисел, які зафіксовані в обчислювальному блоці 6. Нехай маємо чотири ( $i = \overline{1,4}$ ) масиви чисел  $A_i^0$  за кількістю класів класифікації образів, кожний з яких містить по чотири ( $j = \overline{1,4}$ ) числа  $a_{i,j}^0$  за кількістю елементів у вхідному векторному масиві даних, тобто

$$A_1^0 = (25 \ 16 \ 12 \ 8),$$

$$A_2^0 = (14 \ 9 \ 6 \ 20),$$

$$A_3^0 = (10 \ 22 \ 31 \ 5),$$

$$A_4^0 = (13 \ 7 \ 21 \ 29),$$

які складають початкову двовимірну матрицю виду

$$A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 16 & 12 & 8 \\ 14 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 22 & 31 & 5 \\ 13 & 7 & 21 & 29 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Початкові ранги масивів  $A_i^0$  дорівнюють одиниці, тобто початковий вектор рангів виду  $R^0 = (r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4)$  має вигляд  $R^0 = (1 \ 1 \ 1 \ 1)$ . Цикли оброблення матриці  $A_0$  (17) представлено у вигляді таблиці.

Таблиця

Цикл/операція	Дія	Результат (числова матриця або вектор) і коментар
1	2	3
1/1	Формування рядка мініелементів (пошук мінімального елемента стовпця).	$\text{Min}^0 = (10 \ 7 \ 6 \ 5)$
1/2	Формування різницевого зрізу у вигляді невпорядкованої матриці (віднімання мініелементів у кожному стовпці матриці).	$A^{-1} = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$
1/3	Формування впорядкованої матриці (транспозиція елементів у рядках з просуванням нульових елементів праворуч).	$A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 15 & 0 \\ 15 & 25 & 0 & 0 \\ 3 & 15 & 24 & 0 \end{pmatrix}$
2/1	Формування рядка мініелементів.	$\text{Min}^1 = (3 \ 2 \ 0 \ 0)$

1	2	3
2/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A}^2 = \begin{pmatrix} 15-3 & 9-2 & 6 & 3 \\ 4-3 & 2-2 & 15 & 0 \\ 15-3 & 25-2 & 0 & 0 \\ 3-3 & 15-2 & 24 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 0 & 15 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 24 & 0 \end{pmatrix}$
2/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^2 = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 15 & 0 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 13 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
3/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^2 = (1 \ 7 \ 0 \ 0)$
3/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A}^3 = \begin{pmatrix} 12-1 & 7-7 & 6 & 3 \\ 1-1 & 15-7 & 0 & 0 \\ 12-1 & 23-7 & 0 & 0 \\ 13-1 & 24-7 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 6 & 3 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
3/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^3 = \begin{pmatrix} 11 & 6 & 3 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
4/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^3 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$
4/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A} = \begin{pmatrix} 11-8 & 6 & 3 & 0 \\ 8-8 & 0 & 0 & 0 \\ 11-8 & 16 & 0 & 0 \\ 12-8 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 16 & 0 & 0 \\ 4 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - мінімальний масив $A_2^0$ Отримано перший нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел $A_2^0$ є мінімальним серед масивів $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$ . Цей рядок виключають з подальшого оброблення.
	Формування вектора рангів масивів чисел.	$R^1 = (2 \ 1 \ 2 \ 2)$
4/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^4 = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3 & 16 & 0 & 0 \\ 4 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
5/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^4 = (3 \ 6 \ 0 \ 0)$
5/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6-6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3-3 & 16-6 & 0 & 0 \\ 4-3 & 17-6 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
5/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^5 = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
6/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^5 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$

1	2	3
6/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10-1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
6/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^6 = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
7/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^6 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$
7/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A}^7 = \begin{pmatrix} 2-2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9-2 & 0 & 0 & 0 \\ 11-2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - наступний мінімум $A_1^0$ Отримано наступний нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел $A_1^0$ мінімальним серед масивів $A_1^0, A_3^0, A_4^0$ . Цей рядок виключають з подальшого оброблення.
	Формування вектора рангів масивів чисел.	$R^2 = (2 \ 1 \ 3 \ 3)$
7/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^7 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
8/1	Формування рядка мінілементів.	$\text{Min}^7 = (7 \ 0 \ 0 \ 0)$
8/2	Формування невпорядкованої матриці.	$\bar{A} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7-7 & 0 & 0 & 0 \\ 9-7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - наступний мінімум $A_3^0$ . Отримано наступний нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел $A_3^0$ є мінімальним серед масивів $A_3^0, A_4^0$ . Цей рядок виключають з подальшого оброблення.
	Формування вектора рангів масивів чисел.	$R^3 = (2 \ 1 \ 3 \ 4)$
8/3	В подальшому вже немає необхідності виконувати зсув нульових елементів праворуч, оскільки залишився лише один рядок з ненульовими елементами.	$A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - максимум $A_4^0$ Цей рядок вказує на те, що масив чисел $A_4^0$ є максимальним серед масивів $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$ .

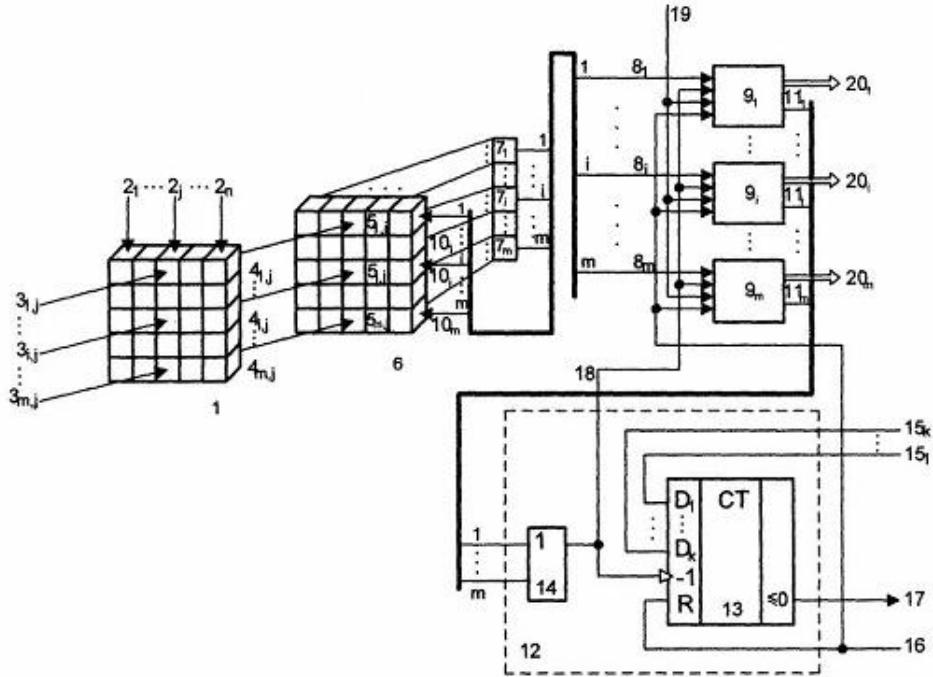
Отже, максимальним за сумою своїх елементів є масив  $A_4^0$ , тобто вхідний образ належить до четвертого класу образів за даною класифікацією, а кількість циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку цього максимуму, дорівнює 8. Крім того, серед решти класів найближчим до визначеного є

третій клас, що видно за даними вектора рангів масивів чисел.

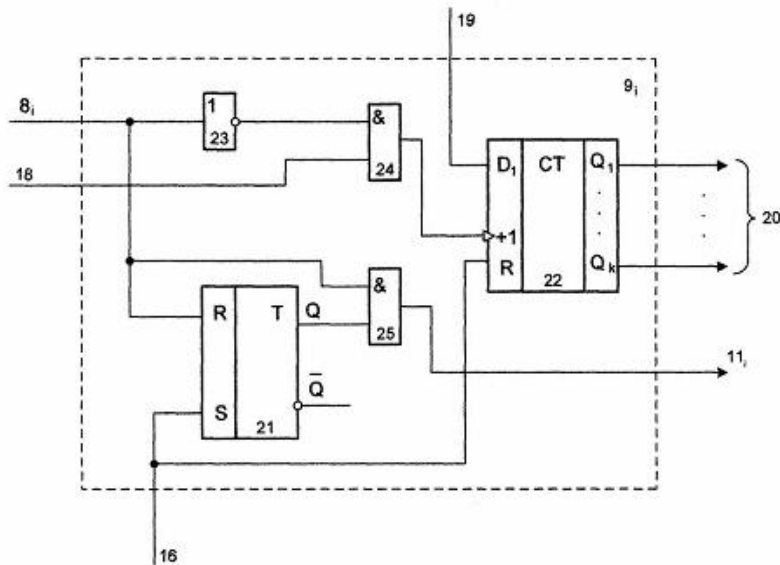
Таким чином, використання можливості формування рангів векторних масивів даних одночасно з класифікацією образів у вигляді цих масивів дозволяє розширити область застосування запропонованого пристрою для класифікації образів за

рахунок можливості одночасного сортування векторних масивів зважених елементів за сумою цих

елементів, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.



Фиг. 1



Фиг. 2