УКРАЇНА

(19) UA (11) 27664 (13) U

(51) МПК (2006)
G06K 9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

# ОПИС
## ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під відповідальність власника патенту

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБРАЗІВ

**(21)** u200707216
**(22)** 26.06.2007
**(24)** 12.11.2007
**(72)** МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, UA, БІТЮКОВА ЖАННА ОЛЕКСІЇВНА, UA, КРАВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, UA, ТОПЧАНЮК МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA
**(73)** ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA
**(56)**

**(57)** Пристрій для класифікації образів, що містить блок зважування та обчислювальний блок, який **відрізняється** тим, що до нього введено вузол порогового оброблення і вузол аналізу, який містить першу, другу та третю групи m елементів І та групу m RS-тригерів, де m - кількість класів класифікації образів, і елемент І-НІ, причому 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 і-го рядка якого ($i = \overline{1, m}$) з'єднані з входами і-го елемента І першої групи m елементів І вузла аналізу, вихід якого є виходом ознаки нуля і-го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з відповідним входом елемента І-НІ, а також з відповідним входом заборони комірок і-го рядка обчислювального блока і з першим входом і-го елемента І другої групи m елементів І вузла аналізу, другий вхід якого підключений до виходу і-го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, виходи яких є групою m виходів класифікації пристрою, а вихід і-го елемента І другої групи m елементів І з'єднаний з першим входом і-го елемента І третьої групи m елементів І вузла аналізу, другий вхід яких з'єднаний з виходом елемента І-НІ, а вихід і-го елемента І третьої групи m елементів І з'єднаний з R-входом і-го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, вузол порогового оброблення містить два мультиплексори, два суматори, два регістри, k-вхідний елемент АБО-НІ, елемент АБО та групу k елементів І-НІ, де k - розрядність даних, перший інформаційний вхід першого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом першого регістра, який також підключений до перших входів групи k елементів І-НІ, другі входи яких підключені до першого входу керування пристрою, другий інформаційний вхід першого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом першого мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p-розрядним другим входом керування пристрою ($p=\log_2 n$), а група n інформаційних входів з'єднана з групою n k-розрядних виходів обчислювального блока відповідно, вхід переносу першого суматора з'єднаний з його виходом переносу, інформаційний вихід першого суматора з'єднаний з k-розрядним інформаційним входом першого регістра, вхід скиду якого з'єднаний з входом скиду пристрою, перший інформаційний вхід другого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом другого регістра, який також підключений до k-вхідного елемента АБО-НІ, другий інформаційний вхід другого суматора з'єднаний з виходами групи k елементів І-НІ, вхід переносу другого суматора з'єднаний з шиною живлення пристрою, а його вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО, перший вхід якого з'єднаний з виходом k-вхідного елемента АБО-НІ, інформаційний вихід другого суматора з'єднаний з першим k-розрядним інформаційним входом другого мультиплексора, другий k-розрядний інформаційний вхід якого підключений до інформаційного входу вузла порогового оброблення, а адресний вхід підключений до третього входу керування пристрою, інформаційний вхід другого регістра з'єднаний з k-розрядним виходом другого мультиплексора, установний вхід пристрою з'єднаний з входом скиду другого регістра вузла порогового оброблення та з S-входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід елемента АБО є виходом вузла порогового оброблення, який є виходом підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ вузла аналізу є виходом сигналу "Кінець" пристрою.

(19) UA (11) 27664 (13) U

Корисна модель відноситься до автоматики 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, 1973р., Бюл. №12], який містить багатошарову сітку лінійних дискримінаторів, які містять помножувальні блоки та суматори, в якому одні входи помножувальних блоків лінійних дискримінаторів кожного наступного шару з'єднані з вхідними клемами пристрою, а інші - з виходами лінійних дискримінаторів попереднього шару.

Недоліком даного пристрою є вузька область застосування через те, що він реалізує дискримінанті 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, 1973р., Бюл. №10], який містить блок порогових елементів і послідовно 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 обмежена область застосування через неможливість класифікації образів у вигляді векторних масивів зважених даних з паралельним урахуванням величини порогу класифікації в процесі порівняння елементів векторних масивів.

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою для класифікації образів, в якому за рахунок введення нових вузлів та нових зв'язків досягається можливість розширення області його застосування за рахунок виконання класифікації образів у вигляді векторних масивів даних з паралельним урахуванням величини порогу класифікації, 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 вузол порогового оброблення і вузол аналізу, який містить першу, другу та третю групи m елементів І та групу m RS-тригерів, де m - кількість класів класифікації образів, і елемент І-НІ, причому перша група входів блока зважування з'єднана з n входами n-вимірного образу у вигляді вхідного векторного масиву даних, друга група m×n входів з'єднана з ваговою матрицею коефіцієнтів, а m×n виходи з'єднані з відповідними входами комірок обчислювального блока, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного і-го рядка якого ($i = \overline{1,m}$) з'єднані з входами і-го елемента І першої групи m елементів І вузла аналізу, вихід якого є виходом ознаки нуля і-го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з відповідним входом елемента І-НІ, а також з відповідним входом заборони комірок і-го рядка обчислювального блока і з першим входом і-го елемента І другої групи m елементів І вузла аналізу, другий вхід якого підключений до виходу і-го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, виходи яких є групою m виходів класифікації пристрою, а вихід і-го елемента І другої групи m елементів І з'єднаний з першим входом і-го елемента І третьої групи m елементів І вузла аналізу, другий вхід яких з'єднаний з виходом елемента І-НІ, а вихід і-го елемента І третьої групи m елементів І з'єднаний з R-входом і-го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, вузол порогового оброблення містить два мультиплексора, два суматора, два регістра, k-вхідний елемент АБО-НІ, елемент АБО та групу k елементів І-НІ, де k - розрядність даних, перший інформаційний вхід першого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом першого регістра, який також підключений до перших входів групи k елементів І-НІ, другі входи яких підключені до першого входу керування пристрою, другий інформаційний вхід першого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом першого мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p-розрядним другим входом керування пристрою ($p=\log_2 n$), а група n інформаційних входів з'єднана з групою n k-розрядних виходів обчислювального блока відповідно, вхід переносу першого суматора з'єднаний з його виходом переносу, інформаційний вихід першого суматора з'єднаний з k-розрядним інформаційним входом першого регістра, вхід скиду якого з'єднаний з входом скиду пристрою, перший інформаційний вхід другого суматора з'єднаний з k-розрядним виходом другого регістра, який також підключений до k-вхідного елемента АБО-НІ, другий інформаційний вхід другого суматора з'єднаний з виходами групи k елементів І-НІ, вхід переносу другого суматора з'єднаний з шиною живлення пристрою, а його вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО, перший вхід якого з'єднаний з виходом k-вхідного елемента АБО-НІ, інформаційний вихід другого суматора з'єднаний з першим k-розрядним інформаційним входом другого мультиплексора, другий k-розрядний інформаційний вхід якого підключений до інформаційного входу вузла порогового оброблення, а адресний вхід підключений до третього входу керування пристрою, інформаційний вхід другого регістра з'єднаний з k-розрядним виходом другого мультиплексора, установний вхід пристрою з'єднаний з входом скиду другого регістра вузла порогового оброблення та з S-входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід елемента АБО є виходом вузла порогового оброблення, який є виходом

підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ вузла аналізу є виходом сигналу «Кінець» пристрою.

На кресленні зображена блок-схема пристрою для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних.

Пристрій для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних містить блок 1 зважування з 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 $5_{ij}$ відповідних комірок обчислювального блока 6, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного і-го рядка якого з'єднані з входами і-го елемента І $7_i$ групи елементів І $7_1,...,7_m$ вузла 8 аналізу. Вихід елемента І $7_i$ є виходом ознаки нуля і-го масиву зважених елементів ($i=\overline{1,m}$) і з'єднаний з входом $9_i$ заборони комірок і-го рядка обчислювального блока 6, а також з відповідним входом елемента І-НІ 10 і першим входом елемента І $11_i$ групи елементів І $11_1,\ldots,11_m$ вузла 8 аналізу. Вихід елемента І $11_i$ з'єднаний з першим входом елемента І $12_i$, другий вхід всіх елементів групи І $12_1,...,12_m$ з'єднаний з виходом елемента І-НІ 10 вузла 8 аналізу, а вихід і-го елемента І $12_i$ групи елементів І $12_1,...,12_m$ з'єднаний з R-входом відповідного RS-тригера $13_i$ групи RS-тригерів $13_1,...,13_m$ вузла 8 аналізу, прямий вихід якого є виходом $14_i$ групи виходів $14_1,...,14_m$ класифікації пристрою, а також з'єднаний з другим входом елемента І $11_i$ групи елементів І $11_1,...,11_m$ вузла 8 аналізу.

Група k-розрядних виходів $15_1,...,15_n$ (k - розрядність даних) обчислювального блока 6 підключена до групи інформаційних входів вузла 16 порогового оброблення, який містить мультиплексори 17, 18, суматори 19, 20, регістри 21, 22, k-вхідний елемент АБО-НІ 23, елемент АБО 24, групу елементів І-НІ $25_1,...,25_k$. Перший інформаційний вхід суматора 19 з'єднаний з k-розрядним виходом регістра 21, який також підключений до перших входів групи елементів І-НІ $25_1,...,25_k$, другий вхід яких підключений до входу 26 керування пристрою. Другий інформаційний вхід суматора 19 з'єднаний з k-розрядним виходом мультиплексора 17, адресний вхід якого з'єднаний з p-розрядним входом 27 керування пристрою ($p=\log_2 n$), вхід переносу суматора 19 з'єднаний з його виходом переносу. Інформаційний вихід суматора 19 з'єднаний з k-розрядним інформаційним входом регістра 21, вхід скиду якого з'єднаний з входом 28 скиду пристрою.

Перший інформаційний вхід суматора 20 з'єднаний з k-розрядним виходом регістра 22, який також підключений до k-вхідного елемента АБО-НІ 23. Другий інформаційний k-розрядний вхід суматора 20 з'єднаний з виходами групи елементів І-НІ $25_1,...,25_k$, вхід переносу суматора 20 з'єднаний з шиною 29 живлення пристрою, а його вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО 24, перший вхід якого з'єднаний з виходом k-вхідного елемента АБО-НІ 23. Інформаційний вихід суматора 20 з'єднаний з першим k-розрядним інформаційним входом мультиплексора 18, другий k-розрядний інформаційний вхід якого підключений до інформаційного входу 30 вузла 16 порогового оброблення, а адресний вхід підключений до входу 31 керування пристрою. Інформаційний вхід регістра 22 з'єднаний з k-розрядним виходом мультиплексора 18, установили вхід 32 пристрою з'єднаний з входом скиду регістра 22 вузла 16 порогового оброблення та з S-входами групи RS-тригерів $13_1,...,13_m$ вузла 8 аналізу, вихід елемента АБО 24 є виходом 33 вузла 16 порогового оброблення, який є виходом підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ 10 вузла 8 аналізу є виходом 34 сигналу «Кінець» пристрою.

Класифікацію образів у вигляді векторних масивів даних виконують таким чином. Спочатку встановлюють у нульовий стан регістри 21, 22 вузла 16 порогового оброблення і в одиничний стан групу RS-тригерів $13_1,...,13_m$ вузла 8 аналізу по сигналу на вході 28 скиду і на установному вході 32 пристрою. При поданні на входи $2_j$ ($j=\overline{1,n}$) блока 1 зважування вхідного образу у вигляді векторного масиву виду

$$Z=(z_1,...,z_j,...,z_n), \qquad (1)$$

а на його входи $3_{ij}$ ($i=\overline{1,m}$) вагової матриці W, рядки елементів (коефіцієнтів) якої визначають певний клас образів, виду

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

він виконує множення виду $a_{ij}=w_{ij}\cdot z_j$. В результаті на його виходах $4_{ij}$ формують елементи векторних масивів зважених елементів виду:

$$A_i^0=\left(a_{i,1}^0\ldots a_{i,j}^0\ldots a_{i,n}^0\right),\ i=\overline{1,m} \qquad (3)$$

які записують у відповідні комірки обчислювального блока 6 по його входах $5_{ij}$. Одночасно через мультиплексор 18 у регістр 22 вузла 16 порогового оброблення записують величину порогу $\theta$ класифікації, яку подають у k-розрядному двійковому коді на інформаційний вхід 30 вузла 16 порогового оброблення при нульовому сигналі на вході 31 керування пристрою.

Сукупність векторних масивів $A_i^0$ в обчислювальному блоці 6 представлена у вигляді двовимірної матриці розміром ($m\times n$):

$$A^0=\begin{pmatrix} a_{1,1}^0 & \cdots & a_{1,j}^0 & \cdots & a_{1,n}^0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \iddots & \vdots \\ a_{i,1}^0 & \cdots & a_{i,j}^0 & \cdots & a_{i,n}^0 \\ \vdots & \iddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1}^0 & \cdots & a_{m,j}^0 & \cdots & a_{m,n}0 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \qquad (4)$$

де $A_i^0$ - і-й рядок матриці $A^0$.

Ітераційний процес оброблення матриці $A^0$ (4) 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

$$\min_j^{t-1} = \min_i a_{i,j}^{t-1},\ j=\overline{1,n}. \quad (5)$$

В результаті формують вектор-рядок з n мінелементів вигляду:

$$\mathrm{Min}^{t-1} = \left(\min_1^{t-1},...,\min_j^{t-1},...,\min_n^{t-1}\right). \quad (6)$$

Потім виконують паралельне віднімання кожного мінелемента $\min_j^{t-1}$ ($j=\overline{1,n}$) виду (5) від кожного i-го елемента відповідного j-го стовпця матриці $A^{t-1}$ і формують t-ий різницевий зріз у вигляді невпорядкованої матриці чисел $\overline{A^t}$ виду:

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} a_{1,1}^{t-1}-\min_1^{t-1} & \cdots & a_{1,j}^{t-1}-\min_j^{t-1} & \cdots & a_{1,n}^{t-1}-\min_n^{t-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^{t-1}-\min_1^{t-1} & \cdots & a_{i,j}^{t-1}-\min_j^{t-1} & \cdots & a_{i,n}^{t-1}-\min_n^{t-1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^{t-1}-\min_1^{t-1} & \cdots & a_{m,j}^{t-1}-\min_j^{t-1} & \cdots & a_{m,n}^{t-1}-\min_n^{t-1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

або

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \cdots & \bar{a}_{1,j}^t & \cdots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \cdots & \bar{a}_{i,j}^t & \cdots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \cdots & \bar{a}_{m,j}^t & \cdots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix}, \quad (8)$$

де

$$\bar{a}_{i,j}^t = a_{i,j}^{t-1} - \min_j^{t-1},\ t=\overline{1,N}. \quad (9)$$

Одночасно з цим у вузлі 16 порогового оброблення формують поточну суму мінімальних елементів вектор-рядка $\mathrm{Min}^{t-1}$ виду (6)

$$S_t = \sum_{j=1}^{n} \min_j^{t-1},\ t=\overline{1,N}. \quad (10)$$

Перевіряють умову наявності m нульових рядків у матриці $\overline{A^t}$ (7), тобто

$$\bar{A}_i^{(t)} = 0,\ t=\overline{1,N},\ i=\overline{1,m}. \quad (11)$$

Якщо умова (11) виконується, то оброблення закінчують, у протилежному випадку виконують такі дії. Для всіх рядків матриці $\overline{A^t}$ (7) паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю $A^t$, яка має вигляд:

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

Одночасно виконують послідовне віднімання поточної суми $S_t$ (10) від порогу $\Delta_{t-1}$ класифікації з формуванням поточного порогу $\Delta_t$ класифікації виду

$$\Delta_t = \Delta_{t-1} - S_t,\ t=\overline{1,N}, \quad (13)$$

де $\Delta_0=\theta$.

Перевіряють умову нульового або від'ємного значення поточного порогу $\Delta_t$ класифікації

$$\Delta_t \le 0. \quad (14)$$

При виконанні умови (14) процес оброблення продовжують, але якщо умова (11) виконується, то оброблення закінчують. У протилежному випадку для отриманої матриці $A^t$ (12) повторюють цикли оброблення, які складаються з вищезазначеної послідовності дій, починаючи з визначення мінелемента (5) у кожному стовпці матриці $A^t$. У деякому циклі t у двовимірній матриці $\overline{A^t}$ (7) з'являється деякий k-й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на k-й масив чисел $A_k^0$ ($k=\overline{1,m}$), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів $A_1^0,...,A_m^0$, тобто:

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \cdots & \bar{a}_{1,j}^t & \cdots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{k,1}^t = 0 & \cdots & \bar{a}_{k,j}^t = 0 & \cdots & \bar{a}_{k,n}^t = 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \cdots & \bar{a}_{i,j}^t & \cdots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \cdots & \bar{a}_{m,j}^t & \cdots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix} - \text{мінімальний масив } A_k^0, \quad (15)$$

де $\bar{a}_{k,j}^t = 0$, $j=\overline{1,n}$.

При цьому враховують виконання умови (14). Якщо умова (14) не виконується, то у подальшій класифікації цей масив $A_k^0$ участі не приймає як такий, що менший за поріг $\theta$ класифікації.

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

$$\overline{A^t} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \cdots & \bar{a}_{1,j}^t & \cdots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \cdots & - & \cdots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \cdots & \bar{a}_{i,j}^t & \cdots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \cdots & \bar{a}_{m,j}^t & \cdots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix} \text{-k-й рядок.} \quad (16)$$

Кожний наступний нульовий рядок, який з'явиться у двовимірній матриці $\overline{A^t}$ (7), 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 і оброблення продовжують над тими рядками, які ще мають ненульові елементи.

Оброблення двовимірної матриці $\overline{A^t}$ (7) триває до тих пір, поки не виконається умова (11) наявності m нульових рядків. Результатом

оброблення є останній рядок, який має нульові елементи за умови, що решта рядків були виключені з оброблення як нульові, тобто матриця у цьому циклі (t=N) має вигляд:

$$\bar{A}^N = \begin{pmatrix} - & \cdots & - & \cdots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \cdots & - & \cdots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}^N_{l,1} & \cdots & \bar{a}^N_{l,j}=0 & \cdots & \bar{a}^N_{l,n}=0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \cdots & - & \cdots & - \end{pmatrix} \text{-l-й рядок,} \quad (17)$$

де $a^N_{l,j} = 0$, $j = \overline{1,n}$.

Цей рядок матриці $\bar{A}^N$ за умови (14) вказує на деякий l-й масив чисел $A^0_l$ ($l \in \overline{1,m}$), який є максимальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів чисел $A^0_1,\ldots, A^0_m$ і більший за поріг $\theta$ класифікації. Величина N дорівнює кількості циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку максимального масиву чисел серед масивів $A^0_1,\ldots, A^0_m$.

Всі дії, що виконують послідовно у кожному циклі, реалізує обчислювальний блок 6. Для процесу формування поточного порогу $\Delta_t$ класифікації (13) у вузлі 16 порогового оброблення спочатку формують суму елементів вектор-рядка $Min^{t-1}$ виду (10) на суматорі 19, а потім виконують віднімання виду (13) на суматорі 20, який працює в режимі віднімача. На перший вхід суматора 19 подають дані з виходу регістра 21, а на його другий вхід подають значення мінелемента $min_j^{t-1}$ з виходу мультиплексора 17, який комутує на цей вихід всі елементи вектор-рядка $Min^{t-1}$ (6) послідовно, починаючи з $min_1^{t-1}$ до $min_n^{t-1}$, у відповідності з p-розрядним двійковим кодом ($p=\log_2 n$) на своєму адресному вході, який подають з входу 27 керування пристрою. Отже, проміжні і результуюча сума $S_t$ (10) елементів вектор-рядка $Min^{t-1}$ зберігається у регістрі 21. Перед початком кожного циклу регістр 21 встановлюється у нульовий стан за сигналом на вході 28 скиду пристрою. На перший вхід суматора 20 подають поточний поріг $\Delta_{t-1}$ оброблення, який зберігають у регістрі 22, а на його другий вхід подають проінвертоване k-розрядне значення суми $S_t$ елементів вектор-рядка $Min^{t-1}$ з виходу регістра 21 через групу елементів l-НІ $25_1,\ldots,25_k$ за наявністю одиничного сигналу на вході 26 керування пристрою. Результат віднімання з інформаційного виходу суматора 20 через мультиплексор 18 подають на інформаційний вхід регістра 22, при цьому на вході 31 керування пристрою присутній одиничний сигнал.

При виконанні умови (14) одиничний сигнал з'являється на виході 33 підсумкового сигналу пристрою, оскільки в цьому випадку присутній одиничний сигнал або на виході переносу (позики для операції віднімання) суматора 20, або на виході k-вхідного елемента АБО-НІ 23 вузла 16 порогового оброблення, що приведе до формування одиничного сигналу на виході елемента АБО 24 вузла 16 порогового оброблення. Отже, одиничний сигнал переносу суматора 20 свідчить про від'ємність поточного порогу $\Delta_t$ класифікації, а про його нульове значення свідчить одиничний сигнал на виході k-вхідного елемента АБО-НІ 23.

Виконання умови (11) фіксують наявністю нульового сигналу на виході 34 сигналу «Кінець» пристрою. Одиничний сигнал ознаки нуля на виході i-го елемента І $7_i$ у групі елементів І $7_1,\ldots,7_m$ вузла 8 аналізу, поданий на вхід $9_i$ заборони комірок i-го рядка обчислювального блока 6, ініціює виключення вмісту цих комірок з подальшого оброблення. Одночасно всі сигнали з виходів ознаки нуля групи елементів І $7_1,\ldots,7_m$ подають на входи елемента l-НІ 10 вузла 8 аналізу і формують одиничний сигнал на його виході у разі наявності нульового сигналу ознаки нуля хоча б на одному виході групи елементів І $7_1,\ldots,7_m$, тобто при наявності відповідного ненульового рядка комірок обчислювального блока 6. Отже, при наявності одиничних сигналів з виходу елемента l-НІ 10 і прямого виходу RS-тригера $13_i$ одиничний сигнал ознаки нуля на виході відповідного елемента І $7_i$ викличе обнуления RS-тригера $13_i$, оскільки одиничний сигнал з виходу елемента І $11_i$ через елемент І $12_i$ подають на його R-вхід. Такий процес скиду відповідних RS-тригерів $13_i$ ($i = \overline{1,m-1}$) виконується поступово для всіх RS-тригерів $13_i$, крім останнього l-го, оскільки в цей час на виході елемента l-НІ 10 з'явиться нульовий сигнал, який заборонить проходження одиничного сигналу з виходу елемента І $11_l$ через елемент І $12_l$ на R-вхід RS-тригера $13_l$.

Таким чином, для останнього l-го рядка матриці $\bar{A}^N$ (17) відповідний RS-тригер $13_l$ залишиться в одиничному стані, в результаті на виході $14_l$ класифікації пристрою буде присутній одиничний сигнал, який вказує на максимальний за сумою його елементів вхідний векторний масив з урахуванням порогу $\theta$ класифікації. При цьому, якщо на виході 33 підсумкового сигналу пристрою присутній одиничний сигнал, то сума зважених елементів цього масиву більша, ніж поріг $\theta$ класифікації. При нульовому сигналі на виході 33 підсумкового сигналу пристрою вона менше за поріг $\theta$ класифікації. Нульовий сигнал на виході 34 сигналу «Кінець» пристрою свідчить про закінчення процесу оброблення.

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

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

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

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

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

які складають початкову двовимірну матрицю виду

$$A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 16 & 12 & 8 \\ 14 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 22 & 31 & 5 \\ 13 & 7 & 21 & 29 \end{pmatrix}. \qquad (18)$$

Поріг $\theta$ класифікації дорівнює 65.

Цикли оброблення матриці $A^0$ (18) з урахуванням порогу $\theta$=65 представлено у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

| Цикл/операція | Дія | Результат (числова матриця або вектор) і коментар |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1/1 | Формування рядка мінелементів (пошук мінімального елемента стовпця) | $Min^0=(10\ 7\ 6\ 5)$ |
| 1/2 | Формування різницевого зрізу у вигляді невпорядкованої матриці (віднімання мінелементів у кожному стовпці матриці). | $\overline{A}^1 = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_1=((10+7)+6)+5)=28$ |
| 1/3 | Формування впорядкованої матриці (транспозиція елементів у рядках з просуванням нульових елементів праворуч) | $A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 15 & 0 \\ 15 & 25 & 0 & 0 \\ 3 & 15 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta_1=65-28=37$ |
| 2/1 | Формування рядка мінелементів | $Min^1=(3\ 2\ 0\ 0)$ |
| 2/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^2 = \begin{pmatrix} 15-3 & 9-2 & 6-0 & 3-0 \\ 4-3 & 2-2 & 15-0 & 0-0 \\ 15-3 & 25-2 & 0-0 & 0-0 \\ 3-3 & 15-2 & 24-0 & 0-0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 0 & 15 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_2=((3+2)+0)+0)=5$ |
| 2/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^2 = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 15 & 0 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 13 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta_2=37-5=32$ |
| 3/1 | Формування рядка мінелементів | $Min^2=(1\ 7\ 0\ 0)$ |
| 3/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^3 = \begin{pmatrix} 12-1 & 7- \\ 1-1 & 15- \\ 12-1 & 23- \\ 13-1 & 24- \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_3=($ |
| 3/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^3 =$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta$ |
| 4/1 | Формування рядка мінелементів | Mi |
| 4/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^4 = \begin{pmatrix} 11-8 & 6 & 3 & 0 \\ 8-8 & 0 & 0 & 0 \\ 11-8 & 16 & 0 & 0 \\ 12-8 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & \\ 0 & \\ 3 & \\ 4 & \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_4=($ |
| 4/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^4$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta$ |
| 5/1 | Формування рядка мінелементів | Mi |
| 5/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6- \\ - & - \\ 3-3 & 16- \\ 4-3 & 17- \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_5=($ |
| 5/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^5 =$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta$ |
| 6/1 | Формування рядка мінелементів | Mi |
| 6/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 \\ - & - \\ 10-1 & 0 \\ 1-1 & 1 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточної суми мінелементів | $s_6=($ |

Отримано перший нульовий р

на те, що масив чисел $A_2^0$ є м

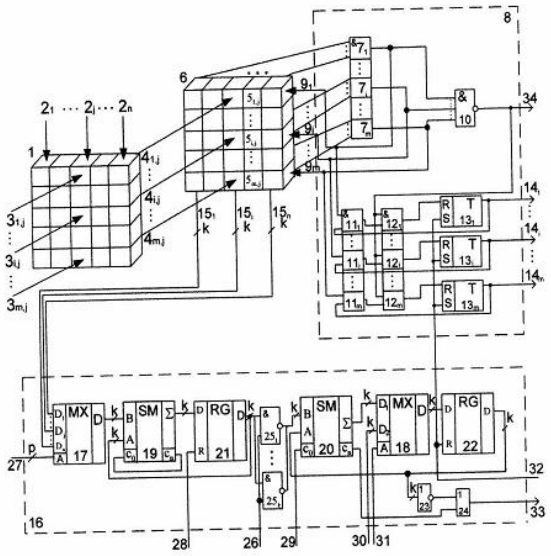
Цей рядок виключає

Масив $A_2^0$ менш

| | | |
|---|---|---|
| 6/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^6 = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta_6=7-1=6$ |
| 7/1 | Формування рядка мінелементів | $Min^6=(2\ 0\ 0\ 0)$ |
| 7/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A^7} = \begin{pmatrix} 2-2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9-2 & 0 & 0 & 0 \\ 11-2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - наступний мінімум $A_1^0$<br>Отримано наступний нульовий рядок двовимірної матриці. Цей рядок вказує на те, що масив чисел $A_1^0$ є мінімальним серед масивів $A_1^0, A_3^0, A_4^0$. Цей рядок виключають з подальшого оброблення. |
| | Формування поточної суми мінелементів | |
| 7/3 | Формування впорядкованої матриці | |
| | Формування поточного порогу класифікації | Маси |
| 8/1 | Формування рядка мінелементів | |
| 8/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A^8} = \begin{pmatrix} - & \\ - & \\ 7-7 & \\ 9-7 & \end{pmatrix}$<br>Отримано наст<br>рядок вказує н<br>масивів $A_3^0, A_4^0$. |
| | Формування поточної суми мінелементів | $S_8=(((7+0)+0)+0)=7$ |
| 8/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| | Формування поточного порогу класифікації | $\Delta_8=4-1=-3$<br>Від'ємне значення поточного порогу класифікації ініціює формування одиничного підсумкового сигналу пристрою. Масив $A_3^0$ більший за поріг $\theta$ класифікації |
| 9/1 | Формування рядка мінелементів | $Min^8=(2\ 0\ 0\ 0)$ |
| 9/2 | Формування невпорядкованої матриці | $\overline{A}^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ - максимум $A_4^0$<br>Цей рядок вказує на те, що масив чисел $A_4^0$ є максимальним серед масивів $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$ і більший за поріг $\theta$ класифікації. |

Отже, максимальним за сумою своїх елементів є масив $A_4^0$, він також більший за поріг $\theta$=65, тобто вхідний образ належить до четвертого класу образів за даною класифікацією. Кількість циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку цього максимуму, дорівнює 9.

Таким чином, використання можливості порівняння з порогом класифікації проміжних результатів порівняння однойменних елементів в усіх масивах зважених даних до послідовного формування масивів з нульовими елементами дозволяє розширити можливості пристрою класифікації образів у вигляді векторних масивів даних нульовий рядок двовимірної матриці. Цей порогу класифікації, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.



Фіг.