



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38507 (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

1

2

(21) u200810039

(22) 04.08.2008

(24) 12.01.2009

(46) 12.01.2009, Бюл.№ 1, 2009 р.

(72) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, UA, ГАВРИЛЮК ОЛЕГ ВАЛЕРІЙОВИЧ, UA, ГУЦОЛ ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, UA

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Пристрій для класифікації образів, який містить блок зважування, обчислювальний блок, вузол аналізу, першу групу m елементів l , де m - кількість класів класифікації образів, перша група входів блока зважування з'єднана з n входами n -вимірною 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 першої групи m елементів l , вихід якого є виходом ознаки нуля i -го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з входом заборони комірок i -го рядка обчислювального блока, який **відрізняється** тим, що в нього введено мультиплексор і групу вузлів оброблення, кожний з яких складається з мультиплексора, суматора, регістра, комутатора, елемента АБО-НІ і елемента АБО, причому вузол аналізу містить першу, другу і третю групи m елементів l , групу m RS-тригерів і елемент І-НІ, вихід i -го елемента l першої групи m елементів l вузла аналізу з'єднаний з відповідним входом елемента І-НІ і з першим входом i -го елемента l другої групи m елементів l вузла аналізу, другий вхід якого підключений до виходу i -го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, виходи яких є групою m виходів класифікації пристрою, а вихід i -го елемента l другої групи m елементів l з'єднаний з першим входом i -го елемента l третьої групи m еле-

ментів l вузла аналізу, другий вхід яких з'єднаний з виходом елемента І-НІ, а вихід i -го елемента l третьої групи m елементів l з'єднаний з R -входом i -го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, група n k -розрядних виходів, де k - розрядність даних, обчислювального блока підключена до групи інформаційних входів мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p -розрядним входом керування пристрою ($p = \log_2 n$), інверсний вхід керування комутатора i -го вузла оброблення з'єднаний з входом заборони i -го рядка обчислювального блока, а його інформаційний вхід з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом мультиплексора, перший інформаційний вхід суматора i -го вузла оброблення з'єднаний з k -розрядним виходом регістра i -го вузла оброблення, його другий інформаційний вхід з'єднаний з k -розрядним виходом комутатора i -го вузла оброблення, його вхід переносу з'єднаний з шиною живлення пристрою, а вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО i -го вузла оброблення, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ i -го вузла оброблення, k -розрядний вхід якого з'єднаний з виходом регістра k -го вузла оброблення, інформаційний вихід суматора з'єднаний з другим інформаційним k -розрядним входом мультиплексора i -го вузла оброблення, адресний вхід якого підключений до входу керування пристрою, перший інформаційний k -розрядний вхід з'єднаний з інформаційним входом i -го вузла оброблення, а інформаційний вихід з'єднаний з k -розрядним входом регістра i -го вузла оброблення, вхід скиду якого з'єднаний з настановним входом пристрою, який з'єднаний також з S -входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід елемента АБО є виходом i -го вузла оброблення, який є виходом i -го підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ вузла аналізу є виходом сигналу "Кінець" пристрою.

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, 1973р., Бюл. №12], який містить багатшарову сітку лінійних дискримінаторів, які містять помножувальні блоки та суматори, в якому одні входи помножувальних блоків ліній-

UA (19) 38507 (11) 38507 (13) U

них 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 дискримінантні функції будь-якого порядку і може бути використаний тільки для класифікації образів.

Відомий 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.

Найбільш близьким за технічною суттю є пристрій для класифікації образів [патент України №24622, кл. G06K9/00, 2007р., Бюл. №10], який містить блок зважування та обчислювальний блок, групу m вузлів рангу, де m - кількість класів класифікації образів, групу m елементів l в подальшому першу групу 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 $m \cdot n$ входів з'єднана з ваговою матрицею коефіцієнтів, а $m \cdot n$ 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 першої 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 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'єдна-

ний 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.

Недоліком даного пристрою є обмежена область застосування через відсутність врахування величини порогу в процесі класифікації образів у вигляді векторних масивів даних.

В основу корисної моделі поставлено задачу 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 для кожного з класів, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для класифікації образів, який містить блок зважування, обчислювальний блок, вузол аналізу, першу групу m елементів l , де m - кількість класів класифікації образів, перша група входів блока зважування з'єднана з n входами n -вимірного образу у вигляді вхідного векторного масиву даних, друга група $m \cdot n$ входів з'єднана з ваговою матрицею коефіцієнтів, а $m \cdot n$ 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 першої групи m елементів l , вихід якого є виходом ознаки нуля i -го масиву зважених елементів вхідного векторного масиву даних і з'єднаний з входом заборони комірок i -го рядка обчислювального блока, введено мультиплексор і групу вузлів оброблення, кожний з яких складається з мультиплексора, суматора, регістра, комутатора, елемента АБО-НІ і елемента АБО, причому вузол аналізу містить першу, другу і третю групи m елементів l , групу m RS-тригерів і елемент І-НІ, вихід i -го елемента l першої групи m елементів l вузла аналізу з'єднаний з відповідним входом елемента І-НІ і з першим входом i -го елемента l другої групи m елементів l вузла аналізу, другий вхід якого підключений до виходу i -го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, виходи яких є групою n виходів класифікації пристрою, а вихід i -го елемента l другої групи m елементів l з'єднаний з першим входом i -го елемента l третьої групи m елементів l вузла аналізу, другий вхід яких з'єднаний з виходом елемента І-НІ, а вихід i -го елемента l третьої групи m елементів l з'єднаний з R -входом i -го RS-тригера групи m RS-тригерів вузла аналізу, група n k -розрядних виходів, де k - розрядність даних, обчислювального блока підключена до групи інформаційних входів мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p -розрядним входом керування пристрою ($p = \log_2 n$), інверсний вхід керування комутатора i -ого вузла оброблення з'єднаний з входом заборони i -го рядка обчислювального блока, а його інформаційний вхід з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом мультиплексора, перший інформаційний вхід суматора i -го вузла оброблення з'єднаний з k -розрядним виходом регістра i -ого вузла оброблення, його другий інфор-

маційний вхід з'єднаний з k -розрядним виходом комутатора i -ого вузла оброблення, його вхід переносу з'єднаний з шиною живлення пристрою, а вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО i -ого вузла оброблення, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ i -ого вузла оброблення, k -розрядний вхід якого з'єднаний з виходом регістра i -ого вузла оброблення, інформаційний вихід суматора з'єднаний з другим інформаційним k -розрядним входом мультиплексора i -ого вузла оброблення, адресний вхід якого підключений до входу керування пристрою, перший інформаційний k -розрядний вхід з'єднаний з інформаційним входом i -ого вузла оброблення, а інформаційний вихід з'єднаний з k -розрядним входом регістра i -ого вузла оброблення, вхід скиду якого з'єднаний з настановним входом пристрою, який з'єднаний також з S -входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід елемента АБО є виходом i -ого вузла оброблення, який є виходом i -го підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ вузла аналізу є виходом сигналу «Кінець» пристрою.

На кресленні зображено функціональну схему пристрою для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних.

Пристрій для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних містить помножувач 1 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} помножувача 1 з'єднані з входами 5_{ij} відповідних комірок обчислювального блока 6, виходи ознаки нуля всіх комірок кожного i -го рядка якого з'єднані з входами i -го елемента І 7_i групи елементів І $7_1, \dots, 7_m$ вузла 8 аналізу. Вихід елемента І 7_i є виходом ознаки нуля i -го масиву зважених елементів ($i = \overline{1, m}$) і з'єднаний з входом 9 заборони комірок i -го рядка обчислювального блока 6, а також з відповідним входом елемента І-НІ 10 і першим входом елемента І 11 групи елементів І 11₁, ..., 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 i -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 класифікації пристрою.

Група k -розрядних виходів 15 _{1} , ..., 15 _{n} (k - розрядність даних) обчислюваного блока 6 підключена до групи входів мультиплексора 16. Кожний вузол 17 _{i} оброблення групи вузлів 17 _{1} ...17 _{m} оброблення складається з суматора 18, регістра 19, мультиплексора 20, елементів АБО-НІ 21, АБО 22 та елементів І 23. У вузлі 17 _{i} оброблення перший інформаційний вхід суматора 18 з'єднаний з k -розрядним виходом регістра 19, другий інформаційний вхід з'єднаний з виходом комутатора 23, інверсний вхід керування якого з'єднаний з входом 9 _{i} заборони комірок i -го рядка обчислювального блока 6, а інформаційний вхід з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом 24 мультиплексора 16,

адресний вхід якого з'єднаний з p -розрядним входом 25 керування пристрою ($p = \log_2 n$). Вхід переносу суматора 18 вузла 17 _{i} оброблення з'єднаний з шиною 26 живлення пристрою, його інформаційний вихід з'єднаний з другим k -розрядним інформаційним входом мультиплексора 20, а його вихід переносу з'єднаний з другим входом елемента АБО 22, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ 21.

Адресний вхід мультиплексора 20 вузла 17 _{i} оброблення з'єднаний з входом 27 керування пристрою а його перший k -розрядний інформаційний вхід підключений до входу 28 _{i} порогоу пристрою. Вихід мультиплексора 20 вузла 17 _{i} оброблення з'єднаний з k -розрядним входом регістра 19, вхід скиду якого з'єднаний з настановним входом 29 пристрою, який з'єднаний також з S -входами групи RS-тригерів 13 _{1} , ..., 13 _{m} вузла 8 аналізу. Вихід регістра 19 вузла 17 _{i} оброблення з'єднаний з k -розрядним входом елемента АБО-НІ 21, вихід елемента АБО 22 є виходом 30 _{i} вузла 17 _{i} оброблення, який виходом i -го підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ 10 вузла 8 аналізу є виходом 31 сигналу «Кінець» пристрою.

Класифікація образів у вигляді векторних масивів даних здійснюється таким чином. Спочатку встановлюють у нульовий стан регістр 19 всіх вузлів 17 _{1} , ..., 17 _{m} оброблення і в одиничний стан групи RS-тригерів 13 _{1} , ..., 13 _{m} вузла 8 аналізу по сигналу на настановному вході 29 пристрою. При поданні на входи 2_j ($j = \overline{1, n}$) помножувача 1 вхідного образу як векторного масиву вигляду

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

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

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

він виконує множення вигляду $a_{ij}^0 = w_{ij} \cdot z_j$. В результаті на його виходах 4_{ij} формують векторні масиви зважених елементів вигляду:

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

які записують у відповідні комірки обчислювального блока 6 по його входах 5_{ij} . Одночасно у регістр 19 кожного вузла 17, оброблення записують величину порогу θ_i^0 класифікації ($i = \overline{1, m}$), яку подають у k -розрядному двійковому коді по інформаційних входах 28 _{i} вузла 17 _{i} оброблення при нульовому сигналі на вході 27 керування пристрою.

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

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

де A_i^0 - i -й рядок матриці A^0 .

Ітераційний процес оброблення матриці A^0 в обчислювальному блоці 6 має такий вигляд. Спочатку у кожному стовпці матриці A^{t-1} ($t = \overline{1, N}$, де N - кількість циклів оброблення) виконують визначення мінімального елемента, в подальшому поіменованого як мінелемент, вигляду

$$\min_j^{t-1} = \min_{i,j} a_{i,j}^{t-1}, \quad j = \overline{1, N} \quad (5)$$

В результаті формують вектор-рядок з n мінелементів вигляду:

$$\text{Min}^{t-1} = (\min_1^{t-1}, \dots, \min_j^{t-1}, \dots, \min_n^{t-1}) \quad (6)$$

Потім виконують паралельне віднімання кожного мінеlementsа \min_j^{t-1} ($j = \overline{1, n}$) виду (5) від кожного i -го елемента відповідного j -стовпця матриці A^{t-1} і формують невпорядковану матрицю \bar{A}^t , яка має вигляд:

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

або

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

де

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

Одночасно з цим у кожному вузлі 17_i оброблення виконують послідовне віднімання мінеlementsа вектор-рядка Min^{t-1} вигляду (6) від порогу θ_i^0 класифікації з формуванням поточного порогу Δ_i^t класифікації вигляду

$$\Delta_i^t = \Delta_i^{t-1} - \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (10)$$

де $\Delta_i^0 = \theta_i^0$.

Після виконання таких дій у кожному стовпці отриманої матриці \bar{A}^t (8) є хоча б один нульовий елемент, а відповідно, в кожному рядку може бути один, декілька, всі або не бути взагалі нульових елементів.

Перевіряють дві умови: умову наявності m нульових рядків, тобто

$$\bar{A}_1^t = \dots = \bar{A}_i^t = \dots = \bar{A}_m^t = 0, \quad t = \overline{1, N} \quad (11)$$

і умову нульового або від'ємного значення поточних порогів Δ_i^t класифікації

$$\Delta_i^t \leq 0 \quad (12)$$

При виконанні умови (12) процес оброблення продовжують, але якщо умова (11) виконується, то оброблення закінчують. У протилежному випадку виконують такі дії.

Для всіх рядків матриці \bar{A}^t (8) паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю A^t , яка має вигляд:

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^t & \dots & a_{1,j}^t & \dots & a_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^t & \dots & a_{i,j}^t & \dots & a_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^t & \dots & a_{m,j}^t & \dots & a_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad (13)$$

Для отриманої матриці A^t (13) повторюють цикли оброблення, які складаються з вищезазначеної послідовності дій, починаючи з визначення мінеlementsа (5) у кожному стовпці матриці A^t .

У деякому циклі t у двовимірній матриці \bar{A}^t (8) з'являється деякий k -й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на k -й масив чисел

A_k^0 (4) ($k = \overline{1, m}$), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів

$A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$, тобто:

$$\bar{A}^t = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \dots & \bar{a}_{1,j}^t & \dots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{k,1}^t & \dots & \bar{a}_{k,j}^t & \dots & \bar{a}_{k,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \dots & \bar{a}_{i,j}^t & \dots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \dots & \bar{a}_{m,j}^t & \dots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad (14)$$

- мініма-

льний масив A_k^0 ,

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

При цьому враховують виконання умови (12). Якщо умова (12) не виконується, то у подальшій класифікації цей масив A_k^0 участі не приймає як такий, що менший за поріг θ_k^0 класифікації, і відповідний підсумковий сигнал Y_k дорівнює нулю. У протилежному випадку відповідний підсумковий сигнал Y_k дорівнює одиниці, а масив A_k^0 більший за поріг θ_k^0 класифікації.

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

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^t & \dots & a_{1,j}^t & \dots & a_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^t & \dots & a_{i,j}^t & \dots & a_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^t & \dots & a_{m,j}^t & \dots & a_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad (15)$$

- k -й рядок.

$A^{\wedge \bullet}$:

Кожний наступний нульовий рядок, який з'явиться у двовимірній матриці \bar{A}^t (8), вказує на масив чисел, який є мінімальним за сумою своїх елементів серед тих масивів (відповідних рядків), які ще приймають участь в обробленні, якщо виконується умова (11). Такий нульовий рядок також виключають і оброблення продовжують над тими рядками, які ще мають ненульові елементи.

Оброблення двовимірної матриці \bar{A}^t (8) триває до тих пір, поки не виконається умова (11) на-

явності 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

$$\bar{A}^N = \begin{pmatrix} - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \dots & - & \dots & - \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{l,1}^N & \dots & \bar{a}_{l,j}^N & \dots & \bar{a}_{l,n}^N \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ - & \dots & - & \dots & - \end{pmatrix} \quad (16)$$

- l -й рядок,

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

Цей рядок матриці \bar{A}^N за умови (12) вказує на деякий l -й масив чисел A_l^0 ($l \in \overline{1, m}$), який є максимальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів чисел $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$ і більший за поріг θ_l^0 класифікації. Величина N дорівнює кількості циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку максимального масиву чисел серед масивів $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$.

Всі дії, що виконують послідовно у кожному циклі, реалізує обчислювальний блок 6. Для прискорення процесу формування поточного порогу

Δ_i^t класифікації вигляду (10) у вузлі 17_i оброблення не формують суму елементів вектор-рядка Min^{t-1} , а виконують послідовне віднімання вигляду

$$\Delta_i^t = \left(\dots \left(\Delta_i^{t-1} - \text{min}_1^{t-1} \right) - \text{min}_2^{t-1} \right) - \dots - \text{min}_n^{t-1} \quad (17)$$

на суматорі 18, який працює в режимі віднімача. На перший k -розрядний інформаційний вхід суматора 18 вузла 17_i оброблення подають поточний поріг Δ_i^{t-1} класифікації, який зберігають у регістрі 19, а на його другий k -розрядний інформаційний вхід подають через комутатор 23

проінвертоване значення мінеlementa min_j^{t-1} з інверсного виходу 24 мультиплексора 16, який комує на цей вхід всі елементи вектор-рядка

Min^{t-1} послідовно, починаючи з min_1^{t-1} до min_n^{t-1} , у відповідності з двійковим r -розрядним кодом ($r = \log_2 n$) на своєму адресному вході, який подають з входу 25 керування пристрою. Результат віднімання з інформаційного виходу суматора 18 через мультиплексор 20 подають на k -розрядний інформаційний вхід регістра 19, при цьому на вході 27 керування пристрою присутній одиничний сигнал. При появі одиничного сигналу на k -му вході 9_k заборони комірок k -го рядка обчислювального блока 6 комутатор 23 k -то вузла 17_k оброблення не пропускає з інверсного виходу 24 мультиплексора 16

інформацію на відповідний інформаційний вхід суматора 18. Отже, в цьому вузлі 17_k оброблення припиняється формування поточного порогу Δ_k^t оброблення.

При виконанні умови (12) одиничний сигнал з'являється на виході 30_i і-ого підсумкового сигналу Y_i пристрою, оскільки в цьому випадку присутній одиничний сигнал або на виході переносу (позики для операції віднімання) суматора 18, або на виході елемента АБО-НІ 21 вузла 17_i оброблення, що приведе до формування одиничного сигналу на виході елемента АБО 22 вузла 17_i оброблення. Отже, одиничний сигнал переносу суматора 18

свідчить про від'ємність поточного порогу Δ_i^t класифікації, а про його нульове значення свідчить одиничний сигнал на виході елемента АБО-НІ 21.

Виконання умови (11) фіксують наявністю нульового сигналу на виході 31 сигналу «Кінець» пристрою. Одиничний сигнал ознаки нуля на виході і-ого елемента $I 7_i$ у групі елементів $I 7_1, \dots, 7_m$ вузла 8 аналізу, поданий на вхід 9_i заборони комірок і-го рядка обчислювального блока 6, ініціює виключення вмісту цих комірок з подальшого оброблення. Одночасно всі сигнали ознаки нуля з виходів групи елементів $I 7_1, \dots, 7_m$ подають на входи елемента І-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 $I 7_1, \dots, 7_m$, тобто при наявності відповідного ненульового рядка обчислювального блока 6. Отже, при наявності одиничних сигналів з виходу елемента І-НІ 10 і прямого виходу RS-тригера 13_i, одиничний сигнал ознаки нуля на виході відповідного елемента $I 7_i$ викличе обнуління RS-тригера 13_i, оскільки одиничний сигнал з виходу елемента $I 11_i$ через елемент $I 12_i$ подають на його R-вхід. Такий процес скиду відповідних RS-тригерів 13_i ($i = \overline{1, m}$) виконується поступово для всіх RS-тригерів 13_i, крім останнього і-го, оскільки в цей час на виході елемента І-НІ 10 з'явиться нульовий сигнал, який заборонить проходження одиничного сигналу з виходу елемента $I 11_i$ через елемент $I 12_i$ на R-вхід RS-тригера 13_i.

Таким чином, для останнього і-го рядка матриці \bar{A}^N (16) відповідний RS-тригер 13_i залишить-ся в одиничному стані, в результаті на виході 14_i

класифікації пристрою буде присутній одиничний сигнал, який вказує на максимальний за сумою його елементів вхідний векторний масив з ураху-

ванням порогу θ_1^0 класифікації. При цьому, якщо на виході 30_i і-ого підсумкового сигналу пристрою присутній одиничний сигнал, то сума зважених

елементів цього масиву більша, ніж поріг θ_1^0 класифікації. При нульовому сигналі на виході 30_i і-ого підсумкового сигналу пристрою вона менше за

поріг θ_1^0 класифікації. Нульовий сигнал на виході 31 сигналу «Кінець» пристрою свідчить про закінчення процесу оброблення.

Розглянемо приклад реалізації класифікації п-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, 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 вигляду

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

Масив порогів $\theta^0 = (\theta_1^0, \theta_2^0, \theta_3^0, \theta_4^0)$ класифікації складає початковий вектор порогів вигляду $\theta^0 = (65, 40, 70, 55)$.

Цикли оброблення матриці A^0 (18) з урахуванням масиву порогів $\theta^0 = (65, 40, 70, 55)$ представлено у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Цикл/ операція	Дія	Результат (числова матриця) і коментар
1	2	3
1/1	Формування рядка міні-елементів (пошук мінімального елемента стовпця).	$\text{Min}^0=(10\ 7\ 6\ 5)$
1/2	Формування невпорядкованої матриці (віднімання мініелементів у кожному стовпці матриці). Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^1 = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$ $\Delta_1^1 = (((65-10)-7)-6)-5=37$ $\Delta_2^1 = (((40-10)-7)-6)-5=12$ $\Delta_3^1 = (((70-10)-7)-6)-5=42$ $\Delta_4^1 = (((55-10)-7)-6)-5=27$
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 міні-елементів.	$\text{Min}^1=(3\ 2\ 0\ 0)$
2/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^2 = \begin{pmatrix} 15-3 & 9-2 & 6 & 3 \\ 4-3 & 2-2 & 15 & 0 \\ 15-3 & 25-2 & 0 & 0 \\ 3-3 & 15-2 & 24 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 0 & 15 & 10 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_1^2 = (((37-3)-2)-0)-0=32$ $\Delta_2^2 = (((12-3)-2)-0)-0=7$ $\Delta_3^2 = (((42-3)-2)-0)-0=37$ $\Delta_4^2 = (((27-3)-2)-0)-0=22$
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 міні-елементів.	$\text{Min}^2=(1\ 7\ 0\ 0)$

Продовження таблиці 1

1	2	3
3/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^3 = \begin{pmatrix} 12-0 & 7-7 & 6 & 3 \\ 1-1 & 15-7 & 0 & 0 \\ 12-1 & 23-7 & 0 & 0 \\ 13-1 & 24-7 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 0 & 6 & 3 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_1^3 = (((((32-1)-7)-0)-0)-0) = 24$ $\Delta_2^3 = (((((7-1)-7)-0)-0)-0) = -1$ $\Delta_3^3 = (((((37-1)-7)-0)-0)-0) = 29$ $\Delta_4^3 = (((((22-1)-7)-0)-0)-0) = 14$ <p>Від'ємне значення поточного порогу класифікації ініціює формування одиничного підсумкового сигналу Y_2 пристрою. Массив A_2^0 більший за поріг θ_2^0 класифікації</p>
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 міні-елементів.	$\text{Min}^3 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$
4/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^4 = \begin{pmatrix} 11-8 & 7 & 3 & 0 \\ 8-8 & 0 & 0 & 0 \\ 11-8 & 16 & 0 & 0 \\ 12-8 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 16 & 0 & 0 \\ 4 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ мінімальний масив A_2^0 <p>Отримано перший нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел A_2^0 є мінімальним серед масивів $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$ і більший за поріг θ_2^0 класифікації. Цей рядок виключають з подальшого оброблення.</p> $\Delta_1^4 = (((((24-8)-0)-0)-0)-0) = 16$ $\Delta_2^4 = (((((-1-8)-0)-0)-0)-0) = -9$ $\Delta_3^4 = (((((29-8)-0)-0)-0)-0) = 21$ $\Delta_4^4 = (((((14-8)-0)-0)-0)-0) = 6$
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 міні-елементів.	$\text{Min}^4 = (3 \ 6 \ 0 \ 0)$

Продовження таблиці 1

1	2	3
5/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6-6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3-3 & 16-6 & 0 & 0 \\ 4-3 & 17-6 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_1^5 = (((((16-3)-6)-0)-0)-0) = 7$ $\Delta_3^5 = (((((21-3)-6)-0)-0)-0) = 12$ $\Delta_4^5 = (((((6-3)-6)-0)-0)-0) = -3$ <p>Від'ємне значення поточного порогу класифікації ініціює формування одиничного підсумкового сигналу Y_4 пристрою. Масив A_4^0 більший за поріг θ_4^0 класифікації</p>
5/3	Формування впорядкованої матриці з.	$A^5 = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
6/1	Формування рядка міне-лементів.	$\text{Min}^5 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$
6/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10-1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_1^6 = (((((7-1)-0)-0)-0)-0) = 6$ $\Delta_3^6 = (((((12-1)-0)-0)-0)-0) = 11$ $\Delta_4^6 = (((((-3-1)-0)-0)-0) = -4$
6/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^4 = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
7/1	Формування рядка мі-нелементів.	$\text{Min}^6 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$
7/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточних порогів оброблення.	$\bar{A}^7 = \begin{pmatrix} 2-2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9-2 & 0 & 0 & 0 \\ 11-2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <p>наступний мінімум A_1^0</p> <p>Отримано наступний нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел A_1^0 є мінімальним серед масивів A_1^0, A_3^0, A_4^0 і менший за поріг класифікації θ_1^0. Підсумковий сигнал Y_1 залишається нульовим. Цей рядок виключають з подальшого оброблення.</p> $\Delta_1^7 = (((((6-2)-0)-0)-0)-0) = -4$ $\Delta_3^7 = (((((11-2)-0)-0)-0)-0) = 9$ $\Delta_4^7 = (((((-4-2)-0)-0)-0) = -6$

Продовження таблиці 1

1	2	3
7/3	Формування впорядкованої матриці.	$\bar{A}^7 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
8/1	Формування рядка міні-елементів.	$\text{Min}^7 = (7 \ 0 \ 0 \ 0)$
8/2	Формування невпорядкованої матриці. Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7-7 & 0 & 0 & 0 \\ 9-7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ 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 і менший за поріг класифікації θ_3^0 . Підсумковий сигнал Y_3 залишається нульовим. Цей рядок виключають з подальшого оброблення. $\Delta_3^8 = (((9-7)-0)-0)-0 = 2$ $\Delta_4^8 = (((-6-7)-0)-0)-0 = -13$
8/3	Формування впорядкованої матриці.	$A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
9/1	Формування рядка міні-елементів.	$\text{Min}^8 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$
9/2	Формування невпорядкованої матриці	$\bar{A}^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ максимум A_4^0 Цей рядок вказує на те, що масив чисел A_4^0 є максимальним серед масивів $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$ і більший за поріг класифікації. $\Delta_4^9 = (((-13-2)-0)-0)-0 = -15$

Отже, максимальним за сумою своїх елементів є масив A_4^0 , він також більший за поріг $\theta_4^0 = 55$, 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 відповідним порогом класифікації проміж-

них результатів оброблення однойменних елементів в усіх масивах зважених даних до послідовного формування масивів з нульовими елементами дозволяє розширити область застосування пристрою для класифікації образів у вигляді векторних масивів даних через паралельне врахування величин порогів класифікації, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.

