



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34128 (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) u200803609

(22) 21.03.2008

(46) 25.07.2008, Бюл.№ 14, 2008 р.

(72) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, UA, КРАВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, UA, ТОПЧАНЮК МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ, 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 p -вимірною образу y 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 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 вузол оброблення, який складається з мультиплексора, суматора, регістра, елемента АБО-НІ, двох елементів l , двох елементів 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 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

2

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 n k -розрядних входів вузла оброблення, перший інформаційний вхід суматора з'єднаний з k -розрядним виходом регістра, який також підключений до k -розрядного входу елемента АБО-НІ, другий інформаційний вхід суматора з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p -розрядним входом керування пристрою ($p = \log_2 n$), а інформаційні входи підключені до групи n k -розрядних входів вузла оброблення, вхід переносу суматора з'єднаний з шиною живлення пристрою, а вихід переносу суматора з'єднаний з другим входом другого елемента АБО, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ, інформаційний вихід суматора з'єднаний з k -розрядним входом першого елемента l , $(k+1)$ -й вхід якого підключений до інверсного входу другого елемента l до входу керування пристрою, а k -розрядний вхід другого елемента l з'єднаний з інформаційним входом вузла оброблення, інформаційний вхід регістра з'єднаний з k -розрядним виходом першого елемента АБО, обидва k -розрядні входи якого з'єднані з виходами першого і другого елементів l , вхід скиду регістра з'єднаний з установним входом пристрою, який з'єднаний також з S-входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід другого елемента АБО є виходом вузла оброблення, який є виходом підсумкового сигналу пристрою, а вихід елемента І-НІ вузла аналізу є виходом сигналу "Кінець" пристрою.

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. G 06 K 9/00, 1973р., 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

(19) UA (11) 34128 (13) U

з'єднани 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. G 06 K 9/00, 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. G06K 9/00, 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 -вимірному 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 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'єднаний з входом початкового вектора рангів пристрою, вхід почат-

кового стану з'єднаний з входом початкового стану пристрою, а $l \times k$ -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, 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 -вимірному 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 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 вузол оброблення, який складається з мультиплексора, суматора, регістра, елемента АБО-НІ, двох елементів l , двох елементів АБО, причому вузол аналізу містить першу, другу і третю групи m елементів l , групу m RS-тригерів і елемент l -НІ, вихід i -го елемента l першої групи m елементів l вузла аналізу з'єднаний з відповідним входом елемента l -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 елементів l вузла аналізу, другий вхід яких з'єднаний з виходом елемента l -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 n k -розрядних входів вузла оброблення, перший інформаційний вхід суматора з'єднаний з k -розрядним виходом регістра, який також підключений до k -розрядного входу елемента АБО-НІ, другий інформаційний вхід суматора з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом мультиплексора, адресний вхід якого з'єднаний з p -розрядним входом керування пристрою ($p = \log_2 n$), а інформаційні входи підключені до групи n A -розрядних входів вузла оброблення, вхід переносу суматора з'єднаний з шиною живлення пристрою, а вихід переносу суматора з'єднаний з другим входом другого еле-

мента АБО, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ, інформаційний вихід суматора з'єднаний з k -розрядним входом першого елемента І, $(k+1)$ -й вхід якого підключений до інверсного входу другого елемента І і до входу керування пристрою, а k -розрядний вхід другого елемента І з'єднаний з інформаційним входом вузла оброблення, інформаційний вхід регістра з'єднаний з k -розрядним виходом першого елемента АБО, обидва A -розрядні входи якого з'єднані з виходами першого і другого елементів І, вхід скиду регістра з'єднаний з настановним входом пристрою, який з'єднаний також з S -входами групи m RS-тригерів вузла аналізу, вихід другого елемента АБО є виходом вузла оброблення, який є виходом 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 111, групи елементів І $11_1, \dots, 11_m$, вузла 8 аналізу. Вихід елемента І 11_i з'єднаний з першим входом елемента І 12_i , другий вхід всіх елементів групи І $12_1, \dots, 12_m$ з'єднаний з виходом елемента І-НІ 10 вузла 8 аналізу, а вихід i -го елемента І 12_i , групи елементів І $12_1, \dots, 12_m$ з'єднаний з R -входом відповідного RS-тригера 13, групи RS-тригерів $13_1, \dots, 13_m$, вузла 8 аналізу, прямий вихід якого є виходом 14, класифікації пристрою, а також з'єднаний з другим входом елемента І 11_i групи елементів І $11_1, \dots, 11_m$ вузла 8 аналізу.

Група k -розрядних виходів $15_1, \dots, 15_n$ (k - розрядність даних) обчислюваного блока 6 підключена до групи входів вузла 16 оброблення, який містить мультиплексор 17, суматор 18, регістр 19 і елементи АБО-НІ 20, І 21, 22, АБО 23, 24. Перший інформаційний вхід суматора 18 з'єднаний з k -розрядним виходом регістра 19, який також підключений до k -розрядного входу елемента АБО-НІ 20. Другий інформаційний вхід суматора 18 з'єднаний з інверсним k -розрядним виходом мультиплексора 17, адресний вхід якого з'єднаний з r -розрядним входом 25 керування пристрою ($r = \log_2 n$), а інформаційні входи підключені до групи входів вузла 16 оброблення, вхід переносу суматора 18 з'єднаний з шиною 26 живлення пристрою, а вихід переносу суматора 18 з'єднаний з другим входом елемента АБО 24, перший вхід

якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ 20. Інформаційний вихід суматора 18 з'єднаний з k -розрядним входом елемента І 21, $(k+1)$ -й вхід якого підключений до інверсного входу елемента І 22 і до входу 27 керування пристрою, а k -розрядний вхід елемента І 22 з'єднаний з інформаційним входом 28 вузла 16 оброблення. Інформаційний вхід регістра 19 з'єднаний з k -розрядним виходом елемента АБО 23, обидва k -розрядні входи якого з'єднані з виходами елементів І 21, 22. Вхід скиду регістра 19 з'єднаний з настановним входом 29 пристрою, який з'єднаний також з S -входами групи RS-тригерів $13_1, \dots, 13_m$ вузла 8 аналізу. Вихід елемента АБО 24 є виходом 30 вузла 16 оброблення, який є виходом 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 вузла 16 оброблення і в одиничний стан групи RS-тригерів $13_1, \dots, 13_m$ вузла 8 аналізу по сигналу на настановному вході 29 пристрою. При поданні на входи 2_j ($j = \overline{1, n}$) помножувача 1 вхідного образу у вигляді векторного масиву виду

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

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

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} \dots w_{1n} \\ \vdots \\ w_{i1} \dots w_{in} \\ \vdots \\ w_{m1} \dots w_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

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

$$A_i^0 = (a_{i1}^0, \dots, a_{ij}^0, \dots, a_{in}^0), \quad (3)$$

які записують у відповідні комірки обчислювального блока 6 по його входах 5_{ij} . Одночасно у регістр 19 вузла 16 оброблення записують величину порогу θ класифікації, яку подають у k -розрядному двійковому коді по інформаційних входах 28 вузла 16 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^0 розміром $m \times n$:

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{11}^0 \dots a_{1j}^0 \dots a_{1n}^0 \\ \vdots \\ a_{i1}^0 \dots a_{ij}^0 \dots a_{in}^0 \\ \vdots \\ a_{m1}^0 \dots a_{mj}^0 \dots a_{m,n}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

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 мінеlement, виду

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

В результаті формують вектор-рядок з n мінеlementів 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 мінеlementa \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 чисел \bar{A}^t , яка має вигляд:

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

або

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

де

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

Одночасно з цим у вузлі 16 оброблення виконують послідовне віднімання мінеlementів вектор-рядка Min^{t-1} виду (6) від порогу θ класифікації з формуванням поточного порогу Δ_t класифікації виду

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

де $\Delta_0 = \theta$.

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

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

і умову нульового або від'ємного значення поточного порогу Δ_t класифікації

$$\Delta_t \leq 0. \quad (12)$$

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 мінеlementa (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 -и 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:

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

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 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:

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

Кожний наступний нульовий рядок, який з'являється 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) 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

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

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

Цей рядок матриці \bar{A}^t 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 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_t класифікації (10) у вузлі 16 оброблення не формують суму елементів вектор-рядка Min^{t-1} , а виконують послідовне віднімання виду

$$\Delta_t = (\dots((\Delta_t - \min_1^{t-1}) - \min_2^{t-1}) - \dots - \min_n^{t-1}), \quad (17)$$

на суматорі 18, який працює в режимі віднімання. На перший k -розрядний інформаційний вхід суматора 18 подають поточний поріг Δ_{t-1} класифікації, який зберігають у регістрі 19, а на його другий k -розрядний інформаційний вхід подають проінвертоване значення мінеlementa \min^{t-1}_j з

інверсного виходу мультиплексора 17, який комує на цей вихід всі елементи вектор-рядка Min^{t-1} послідовно, починаючи з \min^{t-1}_1 до \min^{t-1}_n , у відповідності з двійковим p -розрядним кодом ($p = \log_2 n$) на своєму адресному вході, який подають з входу 25 керування пристрою. Результат віднімання з інформаційного виходу суматора 18 через елементи 1 21 і АБО 23 подають на k -розрядний інформаційний вхід регістра 19, при цьому на вході 27 керування пристрою присутній одиничний сигнал.

При виконанні умови (12) одиничний сигнал з'являється на виході 30 підсумкового сигналу пристрою, оскільки в цьому випадку присутній одиничний сигнал або на виході переносу (позики для операції віднімання) суматора 18, або на виході елемента АБО-НІ 20 вузла 16 оброблення, що приведе до формування одиничного сигналу на виході елемента АБО 24 вузла 16 оброблення. Отже, одиничний сигнал переносу суматора 18 свідчить про від'ємність поточного порогу Δ_t класифікації, а про його нульове значення свідчить одиничний сигнал на виході елемента АБО-НІ 20.

Виконання умови (11) фіксують наявності нульового сигналу на виході 31 сигналу «Кінець» пристрою. Одиничний сигнал ознаки нуля на виході i -го елемента 1 7_{*i*} у групі елементів 1 7_{1, ..., 7_{*m*}} вузла 8 аналізу, поданий на вхід 9, заборони комірок i -го рядка обчислювального блока 6, ініціює виключення вмісту цих комірок з подальшого оброблення. Одночасно всі сигнали ознаки нуля з виходів групи елементів 1 7_{1, ..., 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 1 7_{1, ..., 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 1 7_{*i*} викличе обнулення RS-тригера 13_{*i*}, оскільки одиничний сигнал з виходу елемента 1 11_{*i*} через елемент 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 І-НІ 10 з'явиться нульовий сигнал, який заборонить проходження одиничного сигналу з виходу елемента 1 11_{*i*} через елемент 1 12_{*i*} на R-вхід RS-тригера 13_{*i*}.

Таким чином, для останнього l -го рядка матриці \bar{A}^t (16) відповідний RS-тригер 13_{*i*} залишиться в одиничному стані, в результаті на виході 14 класифікації пристрою буде присутній одиничний сигнал, який вказує на максимальний за сумою його елементів вхідний векторний масив з урахуванням порогу θ класифікації. При цьому, якщо на виході 30 підсумкового сигналу пристрою присутній одиничний сигнал, то сума зважених елементів цього масиву більша, ніж поріг θ класифікації. При нульовому сигналі на виході 30 підсумкового сигналу пристрою вона менше за поріг θ класифікації. Нульовий сигнал на виході 31 сигналу «Кінець» пристрою свідчить про закінчення процесу оброблення.

Розглянемо приклад реалізації класифікації n -вимірною 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 виду

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

Поріг θ 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) і коментар
1	2	3
1/1	Формування рядка мініелементів (пошук мінімального елемента стовпця)	$\text{Min}^0 = (10 \ 7 \ 6 \ 5)$
1/2	Формування невпорядкованої матриці (віднімання мініелементів у кожному стовпці матриці). Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^1 = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$ $\Delta_1 = (((65-10)-7)-6)-5 = 37$
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	$\text{Min}^1 = (3 \ 2 \ 0 \ 0)$
2/2	Формування невпорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^2 = \begin{pmatrix} 15-3 & 9-2 & 6-3 \\ 4-3 & 2-2 & 15-0 \\ 15-3 & 25-2 & 0-0 \\ 3-3 & 15-2 & 24-0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 0 & 15 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_2 = (((37-3)-2)-0)-0 = 32$
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 мініелементів	$\text{Min}^2 = (1 \ 7 \ 0 \ 0)$
3/2	Формування невпорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^3 = \begin{pmatrix} 12-0 & 7-7 & 6-3 \\ 1-1 & 15-7 & 0-0 \\ 12-1 & 23-7 & 0-0 \\ 13-1 & 24-7 & 0-0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 6 & 3 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_3 = (((32-1)-7)-0)-0 = 24$

1	2	3
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 мінеlementів	$\text{Min}^3 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$
4/2	Формування неупорядкованої матриці Формування поточного порогу 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 $A_1^0, A_2^0, A_3^0, A_4^0$. Цей рядок виключають з подальшого оброблення.</p> $\Delta_4 = (((24-8)-0)-0)-0 = 16$
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 мінеlementів	$\text{Min}^4 = (3 \ 6 \ 0 \ 0)$
5/2	Формування неупорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6-6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3-3 & 16-6 & 0 & 0 \\ 4-3 & 17-6 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_5 = (((16-3)-6)-0)-0 = 7$
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 мінеlementів	$\text{Min}^5 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$
6/2	Формування неупорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10-1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_6 = (((7-1)-0)-0)-0 = 6$

1	2	3
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 мінілементів	$\text{Min}^6 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$
7/2	Формування неупорядкованої матриці. Формування поточного порогу 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. Цей рядок виключають з подальшого оброблення.</p> $\Delta_7 = (((6-2)-0)-0)-0 = 4$
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 неупорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7-7 & 0 & 0 & 0 \\ 9-7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <p>наступний мінімум A_3^0</p> <p>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.</p> $\Delta_8 = (((4-7)-0)-0)-0 = -3$ <p>Від'ємне значення поточного порогу класифікації ініціює формування одиничного підсумкового сигналу пристрою. Масив A_3^0 більший за поріг θ класифікації.</p>
8/3	Формування впорядкованої матриці	$A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
9/1	Формування рядка мінілементів	$\text{Min}^8 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$
9/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <p>максимум A_4^0</p> <p>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.</p>

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 результа-

тів 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 величини порогу класифікації, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів.

