



УКРАЇНА

(19) UA (11) 92682 (13) C2
(51) МПК (2009)
G06K 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

1

(21) а200904457

(22) 05.05.2009

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл.№ 22, 2010 р.

(72) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, КУТАЄВ
ЮРІЙ ФЕДОРОВИЧ, ТИМЧЕНКО ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ,
ГУЦОЛ ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ(73) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, КУТАЄВ
ЮРІЙ ФЕДОРОВИЧ, ТИМЧЕНКО ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ,
ГУЦОЛ ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

(56) UA 38497 U, 12.01.2009

SU 369592, 01.11.1973

SU 687453, 25.09.1979

SU 1361589 A1, 23.12.1987

(57) Пристрій для розпізнавання образів, який містить блок зважування, блок впорядкування навчальних сигналів і блок формування цілочисельних ваг, входи якого з'єднані з відповідними виходами

2

блока впорядкування навчальних сигналів, а виходи з'єднані з керуючими входами блока зважування, який **відрізняється** тим, що в нього введено вхідний блок і блок класифікації, причому входи вхідного блока є інформаційними входами пристрою, а його виходи з'єднані з входами блока впорядкування навчальних сигналів та блока зважування, виходи якого з'єднані з входами блока класифікації, вхід скиду, перший і другий адресні входи, вхід дозволу та вхід задання порогу якого з'єднані з відповідними входами пристрою, перша група виходів блока класифікації з'єднана з іншими входами блока формування цілочисельних ваг, друга група виходів блока класифікації є інформаційними виходами пристрою, перший вихід є його виходом підсумкового сигналу, а другий вихід - виходом сигналу "Кінець" пристрою.

Винахід відноситься до області обчислювальної техніки та автоматики і може бути використаний в адаптивних системах класифікації, розпізнавання, діагностики, ідентифікації, прогнозування та керування.

Відомий пристрій для розпізнавання образів [а.с. СРСР №687453, кл. G 06 K 9/00, 1979р., Бюл. №35], який містить реєстр зображень, виходи якого через схеми співпадання підключені до входів суматора за модулем два, блок відбору максимальних вагових коефіцієнтів, входи якого з'єднані з виходами накопичувального суматора, а виходи - з входами реєстра-перетворювача, виходи якого підключені до входів накопичувального суматора, генератор випадкових чисел і реєстр номеру вагового коефіцієнта, входи якого з'єднані з виходами генератора випадкових чисел і виходами блока відбору максимальних вагових коефіцієнтів, а виходи - з входами схем співпадання і входами блока відбору максимальних вагових коефіцієнтів.

Недоліком даного пристрою є обмежені функціональні можливості через те, що формується лише одновимірний сигнал як результат розпізнавання, що є недостатнім, наприклад, для класифікації образів.

Найбільш близьким за технічною суттю є 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 блок рішення, блок поліноміальних перетворювачів, одні з входів якого підключені до виходів блока порогових елементів, а виходи - до входів блока зважування, блок впорядкування навчальних сигналів, входи якого підключені до виходів блока порогових елементів, а виходи - до других входів блока поліноміальних перетворювачів, і блок формування цілочисельних ваг, входи якого з'єднані з виходом суматора і відповідними виходами блока впорядкування навчальних сигналів, а виходи - з керуючими входами блока зважування.

Недоліком даного пристрою є обмежені функціональні можливості, оскільки відсутня можливість формування багатовимірного сигналу при належності вхідного образу до певного класу.

В основу винаходу поставлено задачу створення пристрою для розпізнавання образів, в якому за рахунок введення нових блоків та зв'язків між ними забезпечується розширення функціональних можливостей через можливість формування

(19) UA (11) 92682 (13) C2

багатомірному сигналу приналежності вхідного образу до певного класу з урахуванням порогу класифікації, а також формування сум елементів відповідних масивів зважених даних.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для розпізнавання образів, який містить блок зважування, блок впорядкування навчальних сигналів і блок формування цілочисельних ваг, входи якого з'єднані з відповідними виходами блока впорядкування навчальних сигналів, а виходи з'єднані з керуючими входами блока зважування, введено вхідний блок і блок класифікації, причому входи вхідного блока є інформаційними входами пристрою, а його виходи з'єднані з входами блока впорядкування навчальних сигналів та блока зважування, виходи якого з'єднані з входами блока класифікації, вхід скиду, два адресні входи, вхід дозволу і вхід задання порогу якого з'єднані з відповідними входами пристрою, виходи результатів блока класифікації з'єднані з другими входами блока формування цілочисельних ваг, виходи класифікації блока класифікації є відповідними виходами пристрою, перший вихід ознаки є його виходом підсумкового сигналу, а другий вихід ознаки є виходом сигналу «Кінець» пристрою.

На фіг. 1 показано структурну схему пристрою для розпізнавання образів, на фіг. 2 подано структурну схему блока класифікації, на фіг. 3 показано функціональну схему блока класифікації, на фіг. 4 наведено приклад роботи пристрою в режимі навчання.

Пристрій для розпізнавання образів (фіг. 1) містить n інформаційних входів 1, вхідний блок 2, блок 3 впорядкування навчальних сигналів, блок 4 зважування, блок 5 класифікації, блок 6 формування цілочисельних ваг, m виходів 7 класифікації. Інформаційні входи 1 пристрою з'єднані з n входами вхідного блока 2, виходи 8 якого з'єднані з n входами блока 3 впорядкування навчальних сигналів і n входами блока 4 зважування, виходи якого підключені до $m \times n$ входів 9 блока 5 класифікації.

Виходи блока 3 впорядкування навчальних сигналів з'єднані з n входами 10 блока 6 формування цілочисельних ваг, m виходів якого з'єднані з керуючими входами 11 блока 4 зважування. Виходи 12 результатів блока 5 класифікації з'єднані з m відповідними входами блока 6 формування цілочисельних ваг, виходи 7 класифікації пристрою з'єднані з відповідними m виходами блока 5 класифікації, вхід 13 скиду якого з'єднаний з відповідним входом пристрою, його перший адресний вхід 14 з'єднаний з відповідним входом пристрою, а його другий вихід ознаки є виходом 15 сигналу «Кінець» пристрою. Вхід 16 є входом задання порогу блока 5 класифікації, вхід 17 є його другим адресним входом, вхід 18 є його входом дозволу, а його вихід 19 ознаки є виходом підсумкового сигналу блока 5 класифікації.

Блок 5 класифікації (фіг. 2) складається з обчислювального блока 20, вузла 21 аналізу і вузла 22 оброблення. Група входів 9 блока 5 класифікації з'єднана з $m \times n$ входами обчислювального блока 20, виходи 23 ознаки нуля якого з'єднані з групою m входів вузла 21 аналізу, а група n виходів

24 з'єднана з групою інформаційних входів вузла 22 оброблення. З входом 25 адреси вузла 22 оброблення з'єднаний q -розрядний вихід вузла 21 аналізу ($q = \log_2 m$). Вхід 13 скиду, перший адресний вхід 14, вхід 16 задання порогу та другий адресний вхід 17 блока 5 класифікації з'єднані з відповідними входами вузла 22 оброблення, виходами якого є m виходів 12 результатів та вихід 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації. Вхід 13 скиду і вхід 18 дозволу блока 5 класифікації з'єднані також з відповідними входами вузла 21 аналізу, група виходів якого є m виходами 7 класифікації блока 5 класифікації, а його вихід є виходом 15 сигналу «Кінець» пристрою.

У блоці 5 класифікації (фіг. 3) вузол 21 аналізу містить елемент І-НІ 26, групу елементів І-НІ $27_1, \dots, 27_m$, групу елементів затримки $28_1, \dots, 28_m$, групу елементів І $29_1, \dots, 29_m$, групу D-тригерів $30_1, \dots, 30_m$ та шифратор 31. Група $m \times n$ входів 9 блока 5 класифікації з'єднана з відповідними входами обчислювального блока 20, вихід 23_i якого є i -м виходом ознаки нуля ($i = \overline{1, m}$) і з'єднаний з відповідним входом елемента І-НІ 26 і першим входом i -го елемента І-НІ 27_i групи елементів І-НІ $27_1, \dots, 27_m$, другий вхід якого з'єднаний з виходом елемента І-НІ 26. Вихід i -го елемента І-НІ 27_i з'єднаний з входом i -го елемента затримки 28, групи елементів затримки $28_1, \dots, 28_m$ вузла 21 аналізу. Перший вхід i -го елемента І 29, групи елементів І $29_1, \dots, 29_m$ з'єднаний з виходом 23_i ознаки нуля обчислювального блока 20, а другий вхід з'єднаний з виходом i -го елемента затримки 28, групи елементів затримки І $28_1, \dots, 28_m$ вузла 21 аналізу. Вихід i -го елемента І 29, групи елементів І $29_1, \dots, 29_m$ з'єднаний з D-входом відповідного D-тригера 30_i групи D-тригерів $30_1, \dots, 30_m$ вузла 21 аналізу, прямі виходи яких підключено до групи входів шифратора 31 вузла 21 аналізу, вхід дозволу якого з'єднаний з входом 18 дозволу блока 5 класифікації.

Вузол 22 оброблення містить мультиплексор 32, суматори 33, 34, регістри 35, 36, мультиплексор 37, елементи АБО-НІ 38, АБО 39, демультимплексор 40. Перший інформаційний вхід суматора 33 з'єднаний з k -розрядним виходом (k - розрядність даних) регістра 35, який також підключений до k -розрядного входу елемента АБО-НІ 38. Другий інформаційний інверсний вхід суматора 33 з'єднаний з другим інформаційним входом суматора 34 та з k -розрядним виходом мультиплексора 32, адресний вхід якого з'єднаний з r -розрядним першим адресним входом 14 блока 5 класифікації ($r = \log_2 n$), а інформаційні входи підключені до групи інформаційних входів вузла 22 оброблення. Вхід переносу суматора 33 з'єднаний з шиною 41 живлення пристрою, а вихід переносу суматора 33 з'єднаний з другим входом елемента АБО 39, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента АБО-НІ 38. Інформаційний вихід суматора 33 з'єднаний з другим інформаційним k -розрядним входом мультиплексора 37, перший інформаційний k -розрядний вхід якого підключений до входу 16 задання порогу блока 5 класифікації, а адресний вхід з'єднаний з другим адресним входом 17 блока 5 класифікації.

Вихід мультиплексора 37 з'єднаний з k-розрядним входом регістра 35, перший інформаційний вхід суматора 34 з'єднаний з k-розрядним виходом регістра 36, який також підключений до інформаційного входу демультиплексора 40, вхід переносу суматора 34 з'єднаний з його виходом переносу, а його інформаційний вихід з'єднаний з k-розрядним входом регістра 36. Адресний вхід демультиплексора 40, який є входом 25 адреси вузла 22 оброблення, з'єднаний з q-розрядним виходом шифратора 31 вузла 21 аналізу ($q = \log_2 m$).

Група інформаційних входів вузла 22 оброблення з'єднана з групою k-розрядних виходів $24_1, \dots, 24_n$ обчислюваного блока 20, вхід скиду регістрів 35, 36 з'єднаний з входом 13 скиду блока 5 класифікації, який з'єднаний також з R-входами групи D-тригерів $30_1, \dots, 30_m$ вузла 21 аналізу. Вихід елемента АБО 39 є виходом 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації, виходи демультиплексора 40 вузла 22 оброблення є групою k-розрядних виходів $12_1, \dots, 12_m$ результатів блока 5 класифікації, прямі виходи групи D-тригерів $30_1, \dots, 30_m$ вузла 21 аналізу є групою виходів $7_1, \dots, 7_m$ класифікації пристрою, а вихід елемента І-НІ 26 вузла 21 аналізу є виходом 15 сигналу «Кінець» пристрою.

Пристрій для розпізнавання образів (фіг. 1) працює в двох режимах: режимі навчання (адаптації) та робочому режимі.

В режимі навчання (адаптації) на n входи 1 вхідного блока 2 послідовно подаються значення компонент навчальних векторів, з n виходів 8 якого вони подаються на входи блока 3 впорядкування навчальних сигналів, де впорядковані компоненти навчальних векторів зберігаються в регістрах. Дані з n виходів 8 вхідного блока 2 також подаються на входи блока 4 зважування, де помножуються на вагові коефіцієнти, які на першому кроці мають початкові значення, а в процесі навчання послідовно налаштовуються за допомогою блока 6 формування цілочисельних ваг. Блок 6 формує на кожному кроці цілочисельне значення цих ваг і подає на керуючі входи 11 блока 4 зважування по сигналах належності до впорядкованого навчального вектора, поданого на даний кроці на його входи 10, та по результатах з виходів 12 блока 5 класифікації. При цьому задіяний вхід 18 дозволу блока 5 класифікації.

В цьому режимі у блоці 5 класифікації за сигналами керування на його адресних входах 14 та 17 обробляються зважені навчальні сигнали, які подаються на його входи 9 у вигляді матриць розміром $m \times n$, де m - кількість класів образів, n - розмірність вхідних векторів.

В робочому режимі на інформаційні входи 1 пристрою подається досліджуваний n-вимірний об'єкт (образ) Z. При цьому дані з виходів 8 вхідного блока 2 поступають на n входи блока 4 зважування, який виконує множення кожного елемента вектора Z на відповідні йому цілочисельні значення ваг, які у вигляді матриці ваг W розміром $m \times n$ були сформовані у режимі навчання і зберігаються у блоці 4 зважування. Блок 4 зважування видає зважувальний вхідний вектор у вигляді матриці A^0

розміром $m \times n$ на входи 9 блока 5 класифікації, який формує на своїх виходах 7 класифікації m-вимірний сигнал приналежності вхідного об'єкта (образу) Z до певного класу з m визначених класів образів з урахуванням порогу θ класифікації, поданого на його вхід 16. Сигналом закінчення процесу класифікації образів є наявність нульового сигналу на виході 15 сигналу «Кінець» пристрою, а присутність одиничного сигналу на виході 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації свідчить про перевищення заданого порогу θ в процесі класифікації.

Блок 3 впорядкування навчальних сигналів і блок 6 формування цілочисельних ваг в робочому режимі вимкнуті. Причому на початку роботи пристрою блок 5 класифікації встановлюється у початковий стан за сигналом на вході 13 скиду пристрою.

Блок 5 класифікації (фіг. 2) працює в такий спосіб. Спочатку встановлюють у початковий стан вузол 21 аналізу та вузол 22 оброблення за сигналом на вході 13 скиду. По групі входів 9 блока 5 класифікації в обчислювальний блок 20 подається матриця A^0 зважених даних розміром $m \times n$ вигляду

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

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

де w_{ij} - відповідний елемент матриці ваг W; z_j - j-й компонент вхідного вектора Z. У вузол 22 оброблення по входу 16 записують поріг θ класифікації за одиничним сигналом на адресному вході 17 блока 5 класифікації.

В обчислювальному блоці 20 виконується ітераційний процес оброблення матриці A^0 , в якій кожний рядок розглядають як масив A_i^0 (1) зважених даних. Спочатку у кожному стовпці матриці A^0 виконують визначення мінімального елемента вигляду

$$\min_j^{t-1} = \min_i a_{i,j}^{t-1}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, N}, \quad (2)$$

в подальшому поіменованого як мінеlement, де N - кількість етапів оброблення. В результаті формують вектор-рядок з n мінеlementів на групі n виходів 24 обчислювального блока 20 вигляду

$$\text{Min}^{t-1} = \left(\min_1^{t-1}, \dots, \min_j^{t-1}, \dots, \min_n^{t-1} \right). \quad (3)$$

Потім в обчислювальному блоці 20 виконують паралельне віднімання j-го мінеlementa від кожного i-го елемента відповідного j-стовпця матриці A^{t-1} , де $t = \overline{1, N}$ і формують невпорядковану матрицю вигляду

$$\bar{A}^t = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \dots & \bar{a}_{1,j}^t & \dots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \dots & \bar{a}_{i,j}^t & \dots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \dots & \bar{a}_{m,j}^t & \dots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix}, \quad (4)$$

причому

$$\bar{a}_{ij}^t = a_{ij}^{t-1} - \min_j^{t-1}. \quad (5)$$

Одночасно з цим у вузлі 22 оброблення виконують послідовне віднімання мінеlementів вектор-рядка \min^{t-1} вигляду (3) від порогу θ класифікації, який записаний з входу 16 задання порогу блока 5 класифікації, з формуванням поточного порогу Δ_t класифікації вигляду

$$\Delta_t = \Delta_{t-1} - \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad t = \overline{1, N} \quad (6)$$

де $\Delta_0 = \theta$,

а в режимі навчання (адаптації) також виконують підсумовування мінеlementів вектор-рядка \min^{t-1} вигляду (3) з формуванням поточної суми

$$S_t = \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad (7)$$

та виконують накопичення поточних сум вигляду

$$S^t = S^{t-1} + S_t, \quad (8)$$

де $S^0 = 0$.

При цьому задіяні адресний вхід 14 і вхід 18 дозволу блока 5 класифікації.

Після виконання віднімання у кожному стовпці

отриманої матриці \bar{A}^t (4) в обчислювальному блоці 20 є хоча б один нульовий елемент, а відповідно, в кожному рядку може бути один, декілька, всі або не бути взагалі нульових елементів.

Перевіряють три умови: умову наявності m нульових рядків, тобто

$$\bar{A}_1^t = \dots = \bar{A}_i^t = \dots = \bar{A}_m^t = 0, \quad t = \overline{1, N}, \quad (9)$$

умову нульового або від'ємного значення поточного порогу Δ_t класифікації

$$\Delta_t \leq 0. \quad (10)$$

і умову появи поточного нульового рядка

$$\exists A_k^t = 0, \quad k = \overline{1, m}. \quad (11)$$

При виконанні умови (10) процес оброблення продовжують, але якщо умова (9) виконується, то оброблення закінчують.

Виконання умови (11) фіксується наявністю одиничного сигналу на k -му виході 23 ознаки нуля обчислювального блока 20 і свідчить про те, що у деякому циклі t у двовимірній матриці \bar{A}^t (4) з'являється деякий k -й рядок з усіма нульовими елементами. Цей рядок вказує на k -й масив чисел A_k^0 (1) ($k = \overline{1, m}$), який є мінімальним за сумою своїх елементів серед початкових масивів $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$, тобто:

$$\bar{A}^t = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1,1}^t & \dots & \bar{a}_{1,j}^t & \dots & \bar{a}_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{k,1}^t & \dots & \bar{a}_{k,j}^t & \dots & \bar{a}_{k,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{i,1}^t & \dots & \bar{a}_{i,j}^t & \dots & \bar{a}_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{a}_{m,1}^t & \dots & \bar{a}_{m,j}^t & \dots & \bar{a}_{m,n}^t \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Мінімальний} \\ \text{масив} \end{matrix} \quad A_k^0 \quad (12)$$

В цьому випадку накопичена сума S^t (8) з'являється на відповідному виході 12 результатів блока 5 класифікації за певною адресою на вході 25 адреси вузла 22 оброблення, при цьому вона дорівнює сумі елементів масиву A_k^0 . Якщо при цьому умова (10) не виконується, тобто на виході 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації присутній нульовий сигнал, 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 мін елементів кожного стовпця матриці \bar{A}^t (12).

Після перевірки виконання умов (9) - (11) для всіх рядків матриці \bar{A}^t (12) паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю A^t , яка має вигляд:

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{1,1}^t & \dots & a_{1,j}^t & \dots & a_{1,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^t & \dots & a_{i,j}^t & \dots & a_{i,n}^t \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1}^t & \dots & a_{m,j}^t & \dots & a_{m,n}^t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

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

Кожний наступний нульовий рядок, який з'являється у двовимірній матриці \bar{A}^t вказує на масив чисел, який є мінімальним за сумою своїх елементів серед тих масивів (відповідних рядків), які ще приймають участь в обробленні. Такий нульовий рядок також виключають, формують суму елементів даного масиву чисел на відповідному виході 12 результатів блока 5 класифікації за певною адресою на вході 25 адреси вузла 22 оброблення у режимі навчання і оброблення продовжують над тими рядками, які ще мають ненульові елементи.

Оброблення двовимірної матриці \bar{A}^t (4) триває до тих пір, поки не виконається умова (9) наявності m нульових рядків, при цьому формується нульовий сигнал на виході 15 сигналу «Кінець» блока 5 класифікації. 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

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

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

Цей рядок матриці \bar{A}^N за умови (10) вказує на деякий l -й масив чисел $A_l^0 \in \overline{1, m}$, 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 класифікації. Величина N дорівнює кількості циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку максимального масиву чисел серед масивів $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$.

У вузлі 22 оброблення блока 5 класифікації (фіг. 3) для прискорення процесу формування поточного порогу Δ_t класифікації вигляду (6) виконують послідовне віднімання вигляду

$$\Delta_t = \left(\dots \left(\left(\Delta_{t-1} - \min_1^{t-1} \right) - \min_2^{t-1} \right) - \dots - \min_n^{t-1} \right) \quad (15)$$

на суматорі 33, який працює в режимі віднімання. Одночасно у суматорі 34 для прискорення процесу накопичення поточних сум S^t вигляду (8) у режимі навчання виконують послідовне підсумовування вигляду

$$S^t = \left(\left(\left(S^{t-1} + \min_1^{t-1} \right) + \min_2^{t-1} \right) + \dots + \min_n^{t-1} \right) \quad (16)$$

На перший k -розрядний інформаційний вхід суматора 33 подають поточний поріг Δ_{t-1} класифікації, який зберігають у регістрі 35, а на його другий інверсний k -розрядний інформаційний вхід і на другий інформаційний вхід суматора 34 подають значення мінеlements \min_j^{t-1} з виходу мультиплексора 32, який комує на цей вихід всі елементи вектор-рядка Min^{t-1} (3) послідовно, починаючи з \min_1^{t-1} до \min_n^{t-1} , у відповідності з двійковим p -розрядним кодом ($p = \log_2 n$) на своєму адресному вході, який подають з адресного входу 14 блока 5 класифікації. На перший k -розрядний інформаційний вхід суматора 34 подають результат попереднього підсумовування, який був записаний у регістрі 36. Результат віднімання з інформаційного виходу суматора 33 через мультиплексор 37 подають на k -розрядний інформаційний вхід регістра 35, при цьому на адресному вході 17 блока 5 класифікації присутній нульовий сигнал. Результат підсумовування з інформаційного виходу суматора 34 подають на k -розрядний інформаційний вхід регістра 36.

При виконанні умови (10) одиничний сигнал з'являється на виході 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації, оскільки в цьому випадку присутній одиничний сигнал або на виході переносу суматора 33, або на виході елемента АБО-НІ 38 вузла 22 оброблення, що приведе до формування одиничного сигналу на виході елемента АБО 39 вузла 22 оброблення. Отже, одиничний сигнал переносу суматора 33 свідчить про від'ємність поточного порогу Δ_t класифікації, а про його нульове значення свідчить одиничний сигнал на виході елемента АБО-НІ 38.

Виконання умови (9) фіксують наявністю нульового сигналу на виході 15 сигналу «Кінець» блока 5 класифікації. Одиничний сигнал ознаки нуля з виходу 23_i групи виходів 23₁, ..., 23_m обчислювального блока 20 подають на вхід елемента І-НІ 27_i групи елементів І-НІ 27₁, ..., 27_m та на вхід елемента І 29_i групи елементів І 29₁, ..., 29_m вузла 21 аналізу. В результаті на виході елемента І 29_i на певний проміжок часу формується одиничний сигнал, який встановлює D-тригер 30_i групи D-тригерів 30₁, ..., 30_m в одиничний стан. Виходи групи D-тригерів 30₁, ..., 30_m з'єднані з входами шифратора 31 вузла 21 аналізу, який за наявності одиничного сигналу на вході 18 дозволу перетворює m -розрядний код на вході в q -розрядний код на його виході ($q = \log_2 m$) і подає його на адресний вхід демультимплексора 40 через вхід 25 адреси вузла 22 оброблення, на інформаційний вхід якого з регістра 36 подається накопичена поточна сума S^t (8) мінеlements, яку формує суматор 34. Отже, у режимі навчання при виконанні умови (11) на i -му виході 12_i демультимплексора 40 з'явиться поточна накопичена сума S_i^0 мінеlements, яка буде відповідати i -му рядку комірок обчислювального блока 20, який став нульовим на t -му циклі оброблення, тобто з виходу 12_i результату блока 5 класифікації можна зчитати суму S_i^0 елементів i -

го масиву A_i^0 (1). Одночасно з цим на виході 7_i групи виходів 7₁, ..., 7_m класифікації блока 5 класифікації присутній одиничний сигнал, який буде означати, що обнулився відповідний рядок \bar{A}_i^t матриці (4).

Елемент затримки 28_i групи елементів затримки 28₁, ..., 28_m вузла 21 аналізу забезпечує затримку сигналу з виходу 23_i групи виходів 23₁, ..., 23_m, який повинен заборонити надходження одиничного сигналу на вхід елемента І 29_i групи елементів І 29₁, ..., 29_m. Це необхідно для того, щоб скинути D-тригер 30_i групи D-тригерів 30₁, ..., 30_m в нульовий стан, але не одразу, а через певний проміжок часу, який задає елемент затримки 28_i і тим самим забезпечує можливість зчитування відповідної суми S^t (8) з відповідного виходу 12_i результату блока 5 класифікації у режимі навчання.

Отже, при наявності одиничного сигналу з виходу елемента І-НІ 26, одиничний сигнал ознаки нуля на виході 23_i викличе встановлення в одиничний стан D-тригера 30_i на заданий проміжок часу, після чого відбувається його скид в нульовий стан.

Такий процес встановлення в одиничний стан та скиду в нульовий стан відповідних D-тригерів 30_i ($i = \overline{1, m}$) виконується поступово для всіх D-тригерів 30_i , крім останнього l-го, оскільки в цей час на виході елемента l-HI 26 з'явиться нульовий сигнал, який заборонить проходження нульового сигналу з виходу елемента l-HI 27_l через елемент l 29_l на вхід D-тригера 30_l .

Таким чином, для останнього l-го рядка матриці \bar{A}^N (14) відповідний D-тригер 30_l залишиться в одиничному стані, в результаті на виході 7_l класифікації блока 5 класифікації буде присутній одиничний сигнал, який вказує на максимальний за сумою його елементів векторний масив A_l^0 з урахуванням порогу θ класифікації. При цьому, якщо на виході 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації присутній одиничний сигнал, то сума зважених елементів цього масиву більша, ніж поріг θ класифікації. При нульовому сигналі на виході 19 підсумкового сигналу блока 5 класифікації вона менше за поріг θ класифікації. Нульовий сигнал на виході 15 сигналу «Кінець» блока 5 класифікації свідчить про закінчення процесу оброблення.

Розглянемо приклад реалізації класифікації п-вимірного образу у вигляді векторного масиву чисел (режим навчання) (фіг. 4). Нехай маємо вхідний образ $Z=(5\ 3\ 6\ 4)$ та матрицю вагових коефіцієнтів

$$W = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 1 & 5 \\ 2 & 7 & 5 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 7 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Після виконання множення вагових коефіцієнтів на елементи вхідного образу, отримаємо початкову двовимірну матрицю вигляду

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

Цикли оброблення матриці A^0 (18) представлено на фіг. 4, де показано також накопичення поточних сум мінеlementів.

Отже, максимальним за сумою своїх елементів, яка дорівнює $S_4^0 = 73$, є масив A_4^0 , тобто вхідний образ належить до четвертого класу образів за даною класифікацією. Кількість циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку цього максимуму, дорівнює 10. Крім того, в процесі оброблення матриці A^0 (18) у режимі навчання були сформовані значення сум $S_1^0, S_2^0, S_3^0, S_4^0$, які задіяні для формування відповідних цілочисельних ваг.

Розглянемо приклад реалізації класифікації п-вимірного образу у вигляді векторного масиву чисел (робочий режим), відповідна матриця якого A_0 зафіксована в обчислювальному блоці 20. 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

$$\begin{aligned} A_1^0 &= (25\ 16\ 12\ 8), \\ A_2^0 &= (14\ 9\ 6\ 20), \\ A_3^0 &= (10\ 22\ 31\ 5), \\ A_4^0 &= (13\ 7\ 21\ 29), \end{aligned}$$

які складають початкову двовимірну матрицю вигляду

$$A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 16 & 12 & 8 \\ 14 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 22 & 31 & 5 \\ 13 & 7 & 21 & 29 \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Поріг θ класифікації дорівнює 65.

Цикли оброблення матриці A^0 (19) 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 мінеlementів (пошук мінімального елемента стовпця)	$\text{Min}^0 = \langle 0\ 7\ 6\ 5 \rangle$
1/2	Формування неупорядкованої матриці (віднімання мінеlementів у кожному стовпці матриці). Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^1 = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$ $\Delta_1 = (((65-10)-7)-6)-5 = 37$

Продовження таблиці 1

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 мінілементів	$\text{Min}^1 = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
2/2	Формування неупорядкованої 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 мінілементів	$\text{Min}^2 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
3/2	Формування неупорядкованої матриці Формування поточного порогу оброблення	$\bar{A}^3 = \begin{pmatrix} 12-0 & 7-7 & 6 & 3 \\ 1-1 & 15-7 & 0 & 0 \\ 12-1 & 23-7 & 0 & 0 \\ 13-1 & 24-7 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 6 & 3 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_3 = (((32-1)-7)-0)-0 = 24$
3/3	Формування впорядкованої матриці	$A^3 = \begin{pmatrix} 11 & 6 & 3 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
4/1	Формування рядка мінілементів	$\text{Min}^3 = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
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 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. $\Delta_4 = (((24-8)-0)-0)-0 = 16$
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 мінілементів	$\text{Min}^4 = \begin{pmatrix} 6 & 6 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Продовження таблиці 1

5/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6-6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3-3 & 16-6 & 0 & 0 \\ 4-3 & 17-6 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_5 = (((((16-3)-6)-0)-0)-0) = 7$
5/3	Формування впорядкованої матриці	$A^5 = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
6/1	Формування рядка мінілементів	$\text{Min}^5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
6/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10-1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\Delta_6 = (((((7-1)-0)-0)-0)-0) = 6$
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	$\text{Min}^6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
7/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^7 = \begin{pmatrix} 2-2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9-2 & 0 & 0 & 0 \\ 11-2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <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> $\Delta_7 = (((((6-2)-0)-0)-0)-0) = 4$
7/3	Формування впорядкованої матриці	$A^7 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
8/1	Формування рядка мінілементів	$\text{Min}^7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
8/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7-7 & 0 & 0 & 0 \\ 9-7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <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> $\Delta_8 = (((((4-7)-0)-0)-0)-0) = -3$ <p>Від'ємне значення поточного порогу класифікації ініціює формування одиничного підсумкового сигналу пристрою. Масив A_3^0 більший за поріг θ класифікації.</p>
	Формування поточного порогу оброблення	

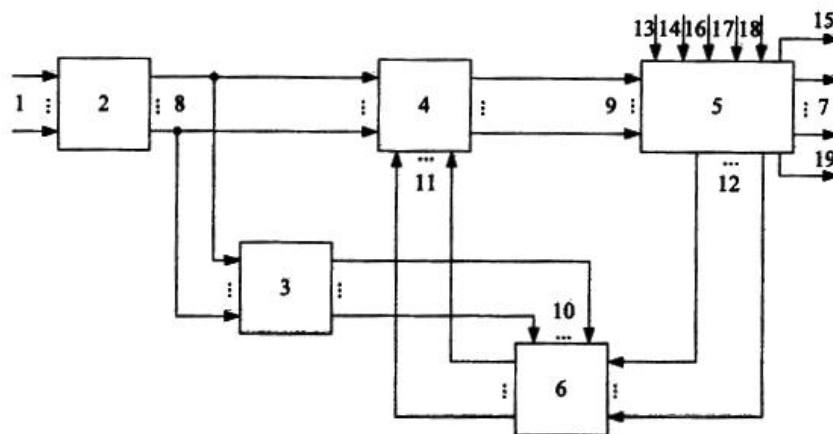
Продовження таблиці 1

8/3	Формування впорядкованої матриці	$A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
9/1	Формування рядка мінілементів	$\text{Min}^8 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
9/2	Формування неупорядкованої матриці	$\bar{A}^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ максимум } A_4^0$ <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>

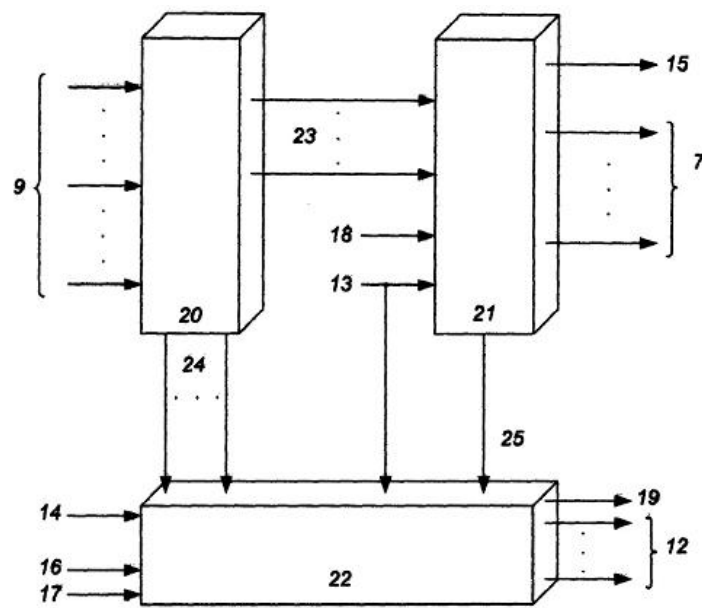
Отже, максимальним за сумою своїх елементів є масив A_4^0 . Він також більший за поріг $\theta=65$, тобто вхідний образ належить до четвертого класу образів за даною класифікацією. Кількість циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку цього максимуму, дорівнює 9.

Таким чином, використання можливості порівняння з порогом класифікації проміжних результатів оброблення однойменних елементів в усіх ряд-

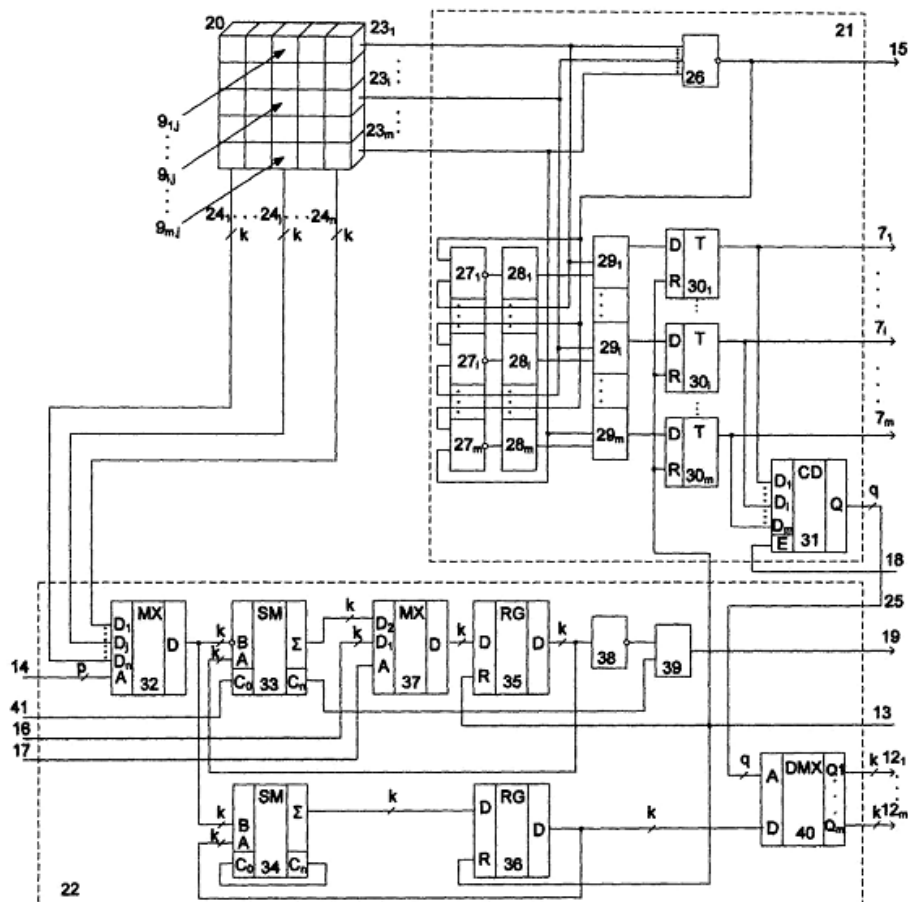
ках матриці зважених даних до послідовного формування рядків з нульовими елементами дозволяє розширити функціональні можливості пристрою для розпізнавання образів у вигляді векторних масивів даних як через паралельне врахування величини порогу класифікації, що може бути використано в подальшому для кластеризації образів, так і через послідовне визначення сум елементів відповідних масивів зважених даних, що може бути використано для формування вагових коефіцієнтів в процесі навчання при розпізнаванні образів.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

$A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 18 & 12 & 8 \\ 20 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 21 & 30 & 4 \\ 15 & 6 & 24 & 28 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^0 = (10 \ 6 \ 6 \ 4)$ $s_1 = 26$ $s^1 = 0 + 26 = 26$	$A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 12 & 6 & 4 \\ 10 & 3 & 16 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \\ 5 & 18 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^1 = (5 \ 3 \ 0 \ 0)$ $s_2 = 8$ $s^2 = 26 + 8 = 34$	$A^2 = \begin{pmatrix} 10 & 9 & 6 & 4 \\ 5 & 16 & 0 & 0 \\ 10 & 21 & 0 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^2 = (5 \ 9 \ 0 \ 0)$ $s_3 = 14$ $s^3 = 34 + 14 = 48$
$A^3 = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 4 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 12 & 0 & 0 \\ 10 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^3 = (5 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_4 = 5$ $s^4 = 48 + 5 = 53$	$A^4 = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^4 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_5 = 2$ $s^5 = 53 + 2 = 55 \ (S_2^0)$	$A^5 = \begin{pmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^5 = (3 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_6 = 3$ $s^6 = 55 + 3 = 58$
$A^6 = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^6 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_7 = 1$ $s^7 = 58 + 1 = 59$	$A^7 = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 6 & 0 & 0 & 0 \\ 14 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^7 = (4 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_8 = 4$ $s^8 = 59 + 4 = 63 \ (S_1^0)$	$A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^8 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_9 = 2$ $s^9 = 63 + 2 = 65 \ (S_3^0)$
$A^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 8 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^9 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_{10} = 8$ $s^{10} = 65 + 8 = 73 \ (S_4^0)$		

Фиг. 4