



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38497 (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 РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

1

2

(21) u200810087

(22) 04.08.2008

(24) 12.01.2009

(46) 12.01.2009, Бюл.№ 1, 2009 р.

(72) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, UA, ЛЕ-
ВАНДОВСЬКИЙ ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ, UA, ГУЦОЛ
ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, UA

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Пристрій для розпізнавання образів, який міс-
тить блок зважування, блок впорядкування навчаль-
них сигналів і блок формування цілочисельних ваг,
входи якого з'єднані з відповідними виходами
блока впорядкування навчальних сигналів, а ви-

ходи з'єднані з керуючими входами блока зважу-
вання, який **відрізняється** тим, що в нього введе-
но вхідний блок і блок класифікації, причому входи
вхідного блока є інформаційними входами при-
строю, а його виходи з'єднані з входами блока
впорядкування навчальних сигналів та блока зва-
жування, виходи якого з'єднані з входами блока
класифікації, вхід скиду і вхід адреси якого з'єднані
з відповідними входами пристрою, виходи резуль-
татів блока класифікації з'єднані з другими вихода-
ми блока формування цілочисельних ваг, його
виходи класифікації є відповідними виходами при-
строю, а вихід ознаки є виходом сигналу "Кінець"
пристрою.

Корисна модель відноситься до області обчис-
лювальної техніки та автоматики і може бути ви-
користана в адаптивних системах класифікації,
розпізнавання, діагностики, ідентифікації, прогно-
зування та керування.

Відомий пристрій для розпізнавання образів
[а.с. СРСР №687453, кл. G06K9/00, 1979р., Бюл.
№35], який містить реєстр зображень, виходи яко-
го через схеми співпадання підключені до входів
суматора за модулем два, блок відбору максима-
льних 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 ваго-
вого коефіцієнта, входи якого з'єднані з виходами
генератора випадкових чисел і виходами блока
відбору максимальних вагових коефіцієнтів, а ви-
ходи - з входами схем співпадання і входами бло-
ка відбору максимальних вагових коефіцієнтів.

Недоліком даного пристрою є обмежені функ-
ціональні можливості через те, що формується
лише одновимірний сигнал як результат розпізна-
вання, що є недостатнім, наприклад, для класифі-
кації образів.

Найбільш близьким за технічною суттю є при-
стрій 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 блок рішення,
блок поліноміальних перетворювачів, одні з входів
якого підключені до виходів блока порогових еле-
ментів, а виходи - до входів блока зважування,
блок впорядкування навчальних сигналів, входи
якого підключені до виходів блока порогових еле-
ментів, а виходи - до других входів блока поліно-
міальних перетворювачів, і блок формування ці-
лочисельних ваг, входи якого з'єднані з виходом
суматора і відповідними виходами блока впоряд-
кування навчальних сигналів, а виходи - з керую-
чими входами блока зважування.

Недоліком даного пристрою є обмежені функ-
ціональні можливості, оскільки відсутня можли-
вість формування багатовимірного сигналу прина-
лежності вхідного образу до певного класу.

В основу корисної моделі поставлено задачу
створення пристрою для розпізнавання образів,
в якому за рахунок введення нових блоків та зв'язків
між ними забезпечується розширення функціона-
льних можливостей через можливість формування
багатовимірного сигналу приналежності вхідного
образу до певного класу.

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 бло-
ка впорядкування навчальних сигналів, а виходи

U
(13)

38497
(11)

UA
(19)

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 і вхід адреси якого з'єднані з відповідними входами пристрою, виходи результатів блока класифікації з'єднані з другими входами блока формування цілочисельних ваг, його виходи класифікації є відповідними виходами пристрою, а вихід ознаки є виходом сигналу «Кінець» пристрою.

На Фіг.1 показано структурну схему пристрою для розпізнавання образів, на Фіг.2 подано функціональну схему блока класифікації, на Фіг.3 наведено приклад роботи пристрою у режимі адаптації (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 n у- m 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 адресний вхід 14 з'єднаний з відповідним входом пристрою, а його вихід ознаки є виходом 15 сигналу «Кінець» пристрою.

Блок 5 класифікації (Фіг.2) складається з обчислювального блока 16, вузла 17 аналізу і вузла 18 оброблення. Група входів 9 блока 5 класифікації з'єднана з $m \times n$ входами обчислювального блока 16, виходи 19 ознаки нуля якого з'єднані з групою $m \times n$ входів вузла 17 аналізу, а група n виходів 20 з'єднана з інформаційними входами вузла 18 оброблення. Група m виходів вузла 17 аналізу з'єднана з входами 21 заборони обчислювального блока 16, а q - розрядний вихід вузла 17 аналізу ($q = \log_2 m$) з'єднаний з входом 22 адреси вузла 18 оброблення. Вхід 13 скиду та адресний вхід 14 блока 5 класифікації з'єднані з відповідними входами вузла 18 оброблення, виходами якого є m виходів 12 результатів блока 5 класифікації. Група виходів вузла 17 аналізу є m виходами 7 класифікації блока 5 класифікації, а його вихід є виходом 15 сигналу «Кінець» блока 5 класифікації.

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

В режимі адаптації (навчання) на n входи 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 адаптації послідовно налаштовуються за допомогою блока 6 формування цілочисельних ваг. Блок 6 формує на кожному кроці цілочисельне значення цих ваг і подає на входи 11 блока 4 зважування по сигналах належності до впорядкованого навчального вектора, поданого на даному кроці на його входи 10, та по результатах з виходів 12 блока 5 класифікації. У блоці 5 класифікації за сигналами керування на його адресному вході 14 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. На початку роботи блок 5 класифікації встановлюється у початковий стан за сигналом скиду на його вході 13.

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 на відповідні йому цілочисельні значення ваг, які у вигляді матриці ваг W розміром $m \times n$ були сформовані у режимі адаптації і зберігаються у блоці 4 зважування. Блок 4 зважування видає зважувальний вхідний вектор у вигляді матриці 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) до певного класу з m визначених класів образів. Сигналом закінчення процесу класифікації образів є наявність нульового сигналу на виході 14 сигналу «Кінець» пристрою.

Блок 3 впорядкування навчальних сигналів і блок 6 формування цілочисельних ваг в робочому режимі вимкнуті.

Блок 5 класифікації (Фіг.2) працює в такий спосіб. В обчислювальному блоці 16 виконується ітеративний процес оброблення матриці A^0 зважених даних вигляду

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

де $a_{ij}^0 = w_{ij} \cdot z_j$.

Спочатку у кожному стовпці матриці A^0 виконують визначення мінімального елемента вигляду

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

в подальшому поіменованого як мінеlement. В результаті формують вектор-рядок з n мінеlementів

$$\text{Min}^{t-1} = \min^{t-1}_{1, \dots, \min^{t-1}_{j, \dots, (\min^{t-1}_n)}. \quad (3)$$

Потім виконують паралельне віднімання j -го мінеlementsа від кожного i -го елемента відповідно до j -столпця матриці A^{t-1} , де $t = \overline{1, N}$ і формують невпорядковану матрицю вигляду

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

причому

$$\bar{a}^t_{i,j} = a^{t-1}_{i,j} - \min_j^{t-1}, \quad (5)$$

де N - кількість етапів оброблення.

Одночасно з цим у вузлі 18 оброблення в режимі адаптації (навчання) виконують підсумовування мінеlementsів вектор-рядка, які подають з виходів 20 обчислювального блока 16, формують поточну суму вигляду

$$S_t = \sum_{j=1}^n \min_j^{t-1}, \quad (6)$$

та виконують накопичення поточних сум вигляду

$$S^t = S^{t-1} + S_t \quad (7)$$

де $S^0 = 0$.

Після виконання віднімання у кожному стовпці

отриманої матриці \bar{A}^t (4) в обчислювальному блоці 16 є хоча б один нульовий елемент, а відповідно, в кожному рядку може бути один, декілька, всі або не бути взагалі нульових елементів. У вузлі 17 аналізу перевіряють умову наявності t нульових рядків, тобто

$$\bar{A}^t_{1,1} = \dots = \bar{A}^t_{i,1} = \dots = \bar{A}^t_{m,1} = 0, \quad t = \overline{1, N}, \quad (8)$$

за сигналами з виходів 19 ознаки нуля обчислювального блока 6.

Якщо ця умова виконується, то оброблення

двовимірної матриці \bar{A}^t завершують і формують нульовий сигнал «Кінець» на виході 15 пристрою. У протилежному випадку оброблення продовжують.

При появі нульових елементів у стовпцях оброблюваної матриці A^t в обчислювальному блоці 16 для всіх рядків матриці паралельно виконують транспозицію елементів з просуванням праворуч усіх нульових елементів і формують впорядковану матрицю A^t , яка має вигляд

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

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

Кожний нульовий рядок \bar{A}^t_k , який з'явиться 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 виключають з оброблення за відповідним сигналом на входах 21 заборони обчислювального блока 16 і оброблення продовжують над тими рядками, які ще мають ненульові елементи. До цього моменту у вузлі 18 оброблення в режимі адаптації накопичено суму S^0_k елементів мінімального масиву A^0_k на відповідному виході 12 результатів вузла 18 оброблення за сигналом на його вході 22 адреси.

Оброблення двовимірної матриці \bar{A}^t триває до тих пір, поки не виконається умова (8) наявності m нульових рядків і не сформується нульовий сигнал на виході 15 сигналу «Кінець» пристрою. 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

$$\bar{A}^N = \begin{pmatrix} - & \dots & - & \dots & - \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ - & \dots & - & \dots & - \\ \bar{a}^N_{\ell,1} & \dots & \bar{a}^N_{\ell,j} & \dots & \bar{a}^N_{\ell,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ - & \dots & - & \dots & - \end{pmatrix} - \ell\text{-й рядок} \quad (10)$$

$$\text{де } \bar{a}^N_{\ell,j} = 0, \quad j = \overline{1, n}.$$

Отже, на виходах 7 класифікації пристрою сформовано m -вимірний сигнал, в якому одиничне значення має ℓ -й елемент, що свідчить про приналежність вхідного образу Z до ℓ -го класу з m класів образів.

Розглянемо приклад роботи пристрою у режимі адаптації (навчання) (Фіг.3). Нехай маємо вхідний навчальний образ у вигляді вектора $Z = (5 \ 3 \ 6 \ 4)$ та початкову матрицю вагових коефіцієнтів

$$W = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 1 & 5 \\ 2 & 7 & 5 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 7 \end{pmatrix} \quad (11)$$

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

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

Цикли оброблення матриці A^0 (12) представлені на Фіг.3, де показано також накопичення поточних сум мінеlementsів.

Отже, максимальним за сумою своїх елементів, яка дорівнює $S^0_4 = 75$, є масив A^0_4 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 (12) у режимі адаптації були сформовані

значення сум $S^0_1, S^0_2, S^0_3, S^0_4$, які використано блоком 6 формування цілочисельних ваг для налаштування вагових коефіцієнтів матриці W .

Приклад класифікації у робочому режимі пристрою зважених елементів вхідного масиву у вигляді двовимірної матриці вигляду

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

наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

| Цикл/операція | Дія | Результат (числова матриця) і коментар |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1/1 | Формування рядка мінілементів (пошук мінімального елемента стовпця) | $\text{Min}^0 = (10 \ 7 \ 6 \ 5)$ |
| 1/2 | Формування невпорядкованої матриці (віднімання мінілементів у кожному стовпці матриці). | $A^{-1} = \begin{pmatrix} 25-10 & 16-7 & 12-6 & 8-5 \\ 14-10 & 9-7 & 6-6 & 20-5 \\ 10-10 & 22-7 & 31-6 & 5-5 \\ 13-10 & 7-7 & 21-6 & 29-5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 15 \\ 0 & 15 & 25 & 0 \\ 3 & 0 & 15 & 24 \end{pmatrix}$ |
| 1/3 | Формування впорядкованої матриці (транспозиція елементів у рядках з просування нульових елементів праворуч) | $A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 9 & 6 & 3 \\ 4 & 2 & 15 & 0 \\ 15 & 25 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 2/1 | Формування рядка мінілементів | $\text{Min}^1 = (3 \ 2 \ 0 \ 0)$ |
| 2/2 | Формування невпорядкованої матриці | $A^{-2} = \begin{pmatrix} 15-3 & 9-2 & 6 & 3 \\ 4-3 & 2-2 & 15 & 0 \\ 15-3 & 25-2 & 0 & 0 \\ 3-3 & 15-2 & 24 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 0 & 15 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 0 & 13 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 2/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^2 = \begin{pmatrix} 12 & 7 & 6 & 3 \\ 1 & 15 & 0 & 0 \\ 12 & 23 & 0 & 0 \\ 13 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 3/1 | Формування рядка мінілементів | $\text{Min}^2 = (1 \ 7 \ 0 \ 0)$ |
| 3/2 | Формування невпорядкованої матриці | $A^{-3} = \begin{pmatrix} 12-0 & 7-7 & 6 & 3 \\ 1-1 & 15-7 & 0 & 0 \\ 12-1 & 23-7 & 0 & 0 \\ 13-1 & 24-7 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 6 & 3 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 3/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^3 = \begin{pmatrix} 11 & 6 & 3 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 16 & 0 & 0 \\ 12 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 4/1 | Формування рядка мінілементів | $\text{Min}^3 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$ |
| 4/2 | Формування невпорядкованої матриці | $A^{-4} = \begin{pmatrix} 11-8 & 7 & 3 & 0 \\ 8-8 & 0 & 0 & 0 \\ 11-8 & 16 & 0 & 0 \\ 12-8 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 16 & 0 & 0 \\ 4 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ мінімальний масив A^0_2 Отримано перший нульовий рядок двовимірної матриці, який вказує на те, що масив чисел A^0_2 є мінімальним серед масивів $A^0_1, A^0_2, A^0_3, A^0_4$. Цей рядок виключають з подальшого оброблення. |

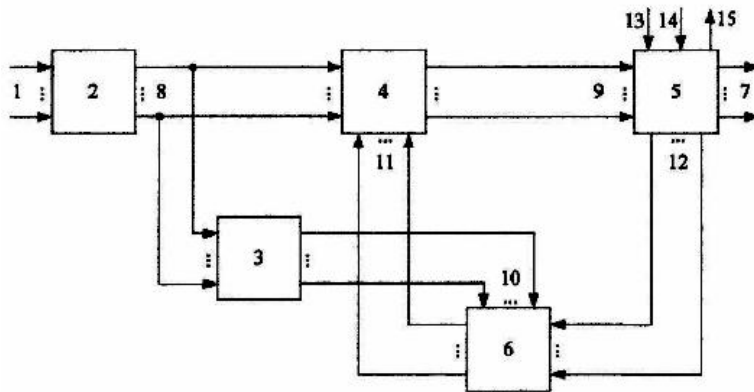
| | | |
|-----|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^4 = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3 & 16 & 0 & 0 \\ 4 & 17 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 5/1 | Формування рядка мінілементів | $\text{Min}^4 = (3 \ 6 \ 0 \ 0)$ |
| 5/2 | Формування неупорядкованої матриці | $\bar{A}^5 = \begin{pmatrix} 3-3 & 6-6 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 3-3 & 16-6 & 0 & 0 \\ 4-3 & 17-6 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 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 | $\text{Min}^5 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$ |
| 6/2 | Формування неупорядкованої матриці | $\bar{A}^6 = \begin{pmatrix} 3-1 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10-1 & 0 & 0 & 0 \\ 1-1 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 6/3 | Формування впорядкованої матриці | $A^6 = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 7/1 | Формування рядка мінілементів | $\text{Min}^6 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ |
| 7/2 | Формування неупорядкованої матриці. | $\bar{A}^7 = \begin{pmatrix} 2-2 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 9-2 & 0 & 0 & 0 \\ 11-2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ наступний мінімум A_1^0 |
| 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 | $\bar{A}^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 7-7 & 0 & 0 & 0 \\ 9-7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ 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 . Цей рядок виключають з подальшого оброблення. |
| 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 | $A^0 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ <p>максимум A^0_4 Цей рядок вказує на те, що масив чисел A^0_4 є максимальним серед масивів $A^0_1, A^0_2, A^0_3, A^0_4$.</p> |
|-----|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

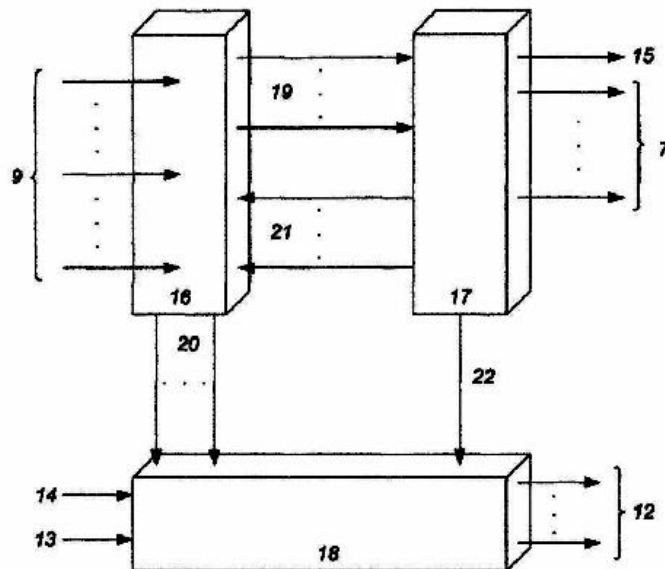
Отже, максимальним за сумою своїх елементів є масив A^0_4 , тобто вхідний образ належить до четвертого класу образів за даною класифікацією. Кількість циклів оброблення, виконаних в процесі пошуку цього максимуму, дорівнює 9.

Запропонований пристрій має розширені функціональні можливості, оскільки після режиму

адаптації (навчання) у робочому режимі формується m -вимірний вихідний сигнал приналежності вхідного образу до i -го класу, про що свідчить наявність одиничного i -го елемента вихідного вектора класифікації.



Фиг. 1



Фиг. 2

13

38497

14

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A^0 = \begin{pmatrix} 25 & 18 & 12 & 8 \\ 20 & 9 & 6 & 20 \\ 10 & 21 & 30 & 4 \\ 15 & 6 & 24 & 28 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^0 = (10 \ 7 \ 6 \ 5)$ $s_1 = 28$ $s^1 = 0 + 28 = 28$ | $A^1 = \begin{pmatrix} 15 & 12 & 6 & 4 \\ 10 & 3 & 16 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \\ 5 & 18 & 24 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^1 = (5 \ 3 \ 0 \ 0)$ $s_2 = 8$ $s^2 = 28 + 8 = 36$ | $A^2 = \begin{pmatrix} 10 & 9 & 6 & 4 \\ 5 & 16 & 0 & 0 \\ 10 & 21 & 0 & 0 \\ 15 & 24 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^2 = (5 \ 9 \ 0 \ 0)$ $s_3 = 14$ $s^3 = 36 + 14 = 50$ |
| $A^3 = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 4 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 12 & 0 & 0 \\ 10 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^3 = (5 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_4 = 5$ $s^4 = 50 + 5 = 55$ | $A^4 = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^4 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_5 = 2$ $s^5 = 55 + 2 = 57 (S_2^0)$ | $A^5 = \begin{pmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^5 = (3 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_6 = 3$ $s^6 = 57 + 3 = 60$ |
| $A^6 = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^6 = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_7 = 1$ $s^7 = 60 + 1 = 61$ | $A^7 = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - \\ 6 & 0 & 0 & 0 \\ 14 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^7 = (4 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_8 = 4$ $s^8 = 61 + 4 = 65 (S_1^0)$ | $A^8 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^8 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_9 = 2$ $s^9 = 65 + 2 = 67 (S_2^0)$ |
| $A^9 = \begin{pmatrix} - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ 8 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{Min}^9 = (8 \ 0 \ 0 \ 0)$ $s_{10} = 8$ $s^{10} = 67 + 8 = 75 (S_4^0)$ | | |

Фіг. 3