



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18624 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G06G 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ДВОНАПРАВЛЕНОЇ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ

1

2

(21) u200605460

(22) 19.05.2006

(24) 15.11.2006

(46) 15.11.2006, Бюл. № 11, 2006 р.

(72) Дмитрієнко Валерій Дмитрійович, Заковоротний Олександр Юрійович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Пристрій двонаправленої асоціативної пам'яті, що складається з двох сенсорних шарів нейронів, який **відрізняється** тим, що в нього уведено два керуючі нейрони, перший з яких зв'язаний вихідними зв'язками з керуючими нейронами першого модуля, а другий зв'язаний аналогічними вихідними зв'язками з керуючими нейронами другого модуля, також обидва керуючих нейрони зв'язані вхідними зв'язками з усіма нейронами в проміжному шарі, елементи якого зв'язані парами двонаправлених зважених зв'язків з відповідними їм елементами розпізнавальних шарів двох однотипних паралельно працюючих модулів, кожний з яких являє собою дискретну нейронну мережу адаптивної резонансної теорії, що містять у собі шари інтерфейсних елементів, нейрони яких пов'язані з

відповідними їм елементами сенсорних шарів парами бінарних двонаправлених зв'язків, шари розпізнавальних елементів, нейрони яких зв'язані з кожним з елементів у відповідних їм інтерфейсних шарах парами двонаправлених зважених зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами, вирішуючі нейрони, які зв'язані збудливими вхідними зв'язками з усіма елементами сенсорних шарів, гальмуючими вхідними зв'язками - з усіма елементами інтерфейсних шарів й збудливими вихідними зв'язками - з усіма елементами розпізнавальних шарів, та по два керуючі нейрони модулів, перші з яких зв'язані збудливими вхідними зв'язками - з усіма елементами сенсорних шарів, збудливими вихідними зв'язками - з усіма елементами інтерфейсних шарів й гальмуючими вхідними зв'язками з усіма елементами розпізнавальних шарів, та другі керуючі нейрони модулів зв'язані збудливими вхідними зв'язками з усіма елементами сенсорних шарів й збудливими вихідними зв'язками - з усіма елементами розпізнавальних шарів, також керуючі нейрони першого та другого модулів зв'язані вхідними зв'язками відповідно з першим та другим керуючим нейроном мережі.

Корисна модель відноситься до обчислювальної техніки, зокрема до області побудови автоматизованих систем керування, а саме до напрямку побудови систем діагностики й керування складними технічними об'єктами.

Корисна модель може бути використана при побудові систем керування або діагностики такого складного технічного об'єкта як трифазний асинхронний тяговий електропривід.

Відомий пристрій асоціативної пам'яті містить засіб запам'ятовування й обробки сигналів, призначений для оперативного прийому й перетворення сигналів, який являє собою скалярні значення даних у комбінаціях збудник-відгук, і утримує відповідні взаємно зв'язані набори вхідних елементів збудника й відгуку, для запам'ятовування перетвореного сигналу, що являє те ж саме у вигляді відповідного кореляційного набору значень ріманового простору як мінімум однієї випробуваної

комбінації збудник-відгук, і для оперативного виробітку й виведення, емпірично зв'язаних даних/сигналів відгуку, генерованих у відповідь на перетворення послідовно введених даних/сигналів збудника, що містять комплексні значення представлення збудника, за допомогою згаданого набору значень ріманового простору, що запомнені [1].

Недоліком відомого пристрою асоціативної пам'яті є наявність ряду обмежень, що накладаються на форму вхідного сигналу збудника (зображення), необхідних для ефективного запам'ятовування в асоціативній пам'яті відповідного сигналу відгуку.

Відомий пристрій формування асоціативних зображень, що містить блок обробки даних, блок керування, блок пам'яті слів, групу блоків пам'яті сюжетів, комутатор, групу інформаційних входів, які з'єднані із групою виходів блоків пам'яті сюже-

(13) U

(11) 18624

(19) UA

тів, керуючий вхід яких, є першим керуючим входом пристрою, і вихід яких - з'єднаний з першим входом блоку обробки даних, другий вхід якого, з'єднаний з виходом блоку пам'яті слів, а також блок пам'яті асоціативних зображень, перший вхід якого з'єднаний з виходом блоку обробки даних, другий вхід з'єднаний з першим виходом блоку керування, а третій вхід з'єднаний із другим виходом блоку керування, із входом блоку пам'яті слів і групою входів блоків пам'яті сюжетів, при цьому керуючий вхід блоку керування є другим керуючим входом пристрою [2].

При порівнянні з першим аналогом пристрій формування асоціативних зображень не накладає ніяких обмежень на форму вхідних зображень. Однак розглянутий пристрій не в змозі здійснити двостороннє відновлення асоціацій з пам'яті.

Найбільш близьким до заявленого пристрою є пристрій нейронної мережі, що одержала назву двонаправленої асоціативної пам'яті й складається з двох сенсорних шарів елементів, нейрони яких зв'язані між собою парами зважених двонаправлених зв'язків з відповідними ваговими коефіцієнтами [3].

При порівнянні з відомими аналогами пристрій - прототип (двонаправлена асоціативна пам'ять) здатен здійснювати двостороннє відновлення асоціацій з пам'яті пристрою (нейронної мережі) і має більш широкі функціональні можливості при роботі з асоціаціями. Однак у розглянутого прототипу відсутня можливість виділення нових образів від перекручених або зашумлених відомих образів, а також відсутня можливість донавчання у процесі його функціонування. Це пов'язане з тим, що запам'ятовування нових асоціацій вимагає процесу повного перенавчання ваг зв'язків даного пристрою.

Таким чином, недоліком прототипу є те, що він не в змозі донавчатись в процесі свого функціонування й не здатний відокремлювати нові образи від перекручених або зашумлених відомих образів.

Завдання корисної моделі - розробка пристрою двонаправленої асоціативної пам'яті, що володіє можливістю донавчання в процесі свого функціонування й здатністю відокремлювати нові образи від перекручених або зашумлених відомих образів.

Завдання вирішується завдяки тому, що пристрій двонаправленої асоціативної пам'яті перебуває шляхом введення в його структуру двох модулів на основі дискретних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ) і проміжного шару нейронів, елементи якого зв'язані парами двонаправлених зважених зв'язків з відповідними їм елементами розпізнавальних шарів, двох однотипних паралельно працюючих модулів, кожний з яких являє собою дискретну нейронну мережу адаптивної резонансної теорії, що містить у собі шари інтерфейсних елементів, нейрони яких зв'язані з відповідними їм елементами сенсорних шарів парами бінарних двонаправлених зв'язків, розпізнавальні шари елементів, нейрони яких зв'язані з кожним з елементів у відповідним їм інтерфейсних шарах парами двонаправлених зважених зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами, вирішуючі нейрони, які зв'язані

збудливими й гальмуючими зв'язками з усіма елементами сенсорних, інтерфейсних і розпізнавальних шарів, і керуючі нейрони, які зв'язані збудливими й гальмуючими зв'язками з усіма елементами сенсорних, інтерфейсних і розпізнавальних шарів, а також з відповідними керуючими нейронами, які в свою чергу зв'язані з усіма нейронами в проміжному шарі елементів нейронної мережі. У результаті додавання в структуру нейронної мережі перерахованих вище елементів досягається можливість донавчання двонаправленої асоціативної пам'яті в процесі її функціонування. Це стає можливим завдяки тому, що нейронні мережі адаптивної резонансної теорії відносять вхідне зображення до одного з відомих класів зображень, якщо воно в достатній мірі подібно або резонує із прототипом цього класу. Якщо знайдений прототип з певною точністю, що задається спеціальним параметром подібності, відповідає вхідному зображенню, то в режимі навчання він модифікується, щоб стати більше схожим на пред'явлене зображення, а в режимі розпізнавання залишається в активному стані відповідний нейрон, що розпізнає. Коли вхідне зображення недостатньо подібно жодному з наявних прототипів, то на його основі й у режимі навчання, й у режимі розпізнавання створюється прототип нового класу. Це можливо завдяки наявності в мережі великої кількості надлишкових нейронів, які не використовуються доти, поки в цьому немає потреби. Отже, нові образи можуть запам'ятовуватись мережею без перекручування вже запомненої раніше інформації. Крім того, нейронні мережі адаптивної резонансної теорії відрізняються здатністю відокремлювати нові образи від перекручених або зашумлених відомих образів.

Винахід ілюструється рисунком (Фіг.1) на якому наведена схема пристрою двонаправленої асоціативної пам'яті розробленої на основі дискретних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії.

Винахід складається із двох додаткових керуючих нейронів  $G_3^1, G_3^2$  і проміжного шару нейронів  $P_d (d=1, \dots, m)$ , елементи якого зв'язані парами двонаправлених зважених зв'язків  $H_{jd}^1, Q_{gd}^1$  і

$H_{dj}^2, Q_{dg}^2$  ( $j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$ ), з відповідними

їм елементами розпізнавальних шарів  $Y_j^1$  і  $Y_g^2$

( $j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$ ), двох однотипних паралельно працюючих модулів, кожний з яких являє собою дискретну нейронну мережу АРТ-1. Кожний модуль асоціативної нейронної мережі містить у собі шари інтерфейсних елементів  $Z_i^1$  і  $Z_i^2$  ( $i=1, \dots, n; l=1, \dots, k$ ), нейрони яких зв'язані з відповідними їм елементами сенсорних шарів  $S_i^1$  і  $S_i^2$  ( $i=1, \dots, n; l=1, \dots, k$ ), парами бінарних двонаправлених зв'язків, шари розпізнавальних елементів  $Y_j^1$  і  $Y_g^2$

( $j=1, \dots, m; g=1, \dots, m$ ), нейрони яких зв'язані з кожним

з елементів у відповідним їм інтерфейсних  $Z_i^1$  и  $Z_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ) шарах парами двунправлених зв'язаних зв'язків з безперервними ваговими коефіцієнтами  $W_{ij}^1$ ,  $W_{ji}^2$  и  $V_{lg}^1$ ,  $V_{gl}^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ;  $l=1, \dots, k$ ;  $g=1, \dots, m$ ), відповідно першого й другого модулів нейронної мережі. Також до складу модулів на основі дискретних нейронних мереж АРТ входять керуючі нейрони  $G_1^1$ ,  $G_2^1$ ,  $G_1^2$ ,  $G_2^2$  и вирішуючі нейрони  $R^1$  та  $R^2$ , які зв'язані збудливими й гальмуючими зв'язками з усіма елементами сенсорних  $S_i^1$  и  $S_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ), інтерфейсних  $Z_i^1$  и  $Z_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ) та розпізнавальних шарів  $Y_j^1$  и  $Y_j^2$  ( $j=1, \dots, m$ ;  $g=1, \dots, m$ ) асоціативної нейронної мережі.

Пристрій двунправленої асоціативної пам'яті, функціонує відповідно до двох алгоритмів: навчання й розпізнавання.

В алгоритмах прийняті наступні позначення:

$m$  - максимальне число пар асоціативних зображень;

$n$  - число бінарних компонентів у вхідному векторі першого модуля;

$k$  - число бінарних компонентів у вхідному векторі другого модуля;

$L$  - константа, що перевершує одиницю, що рекомендується значення:  $L=2$ ;

$r_1$ ,  $r_2$  - параметри подібності між вхідним вектором і вектором, що зберігається у вагах зв'язків нейрона, що перемиг, відповідно першого й другого модуля мережі; діапазон припустимих значень параметрів:  $0 < r_1, r_2 < 1$ ;

$q$  - число пар асоціативних зображень, що запам'ятовуються;

$W_{ij}^1$ ,  $V_{lj}^1$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ;  $l=1, \dots, k$ ) - ваги

зв'язків від елементів інтерфейсного шару до елементів розпізнавального шару, відповідно першого й другого модуля; діапазон припустимих початкових значень:  $0 < W_{ij}^1 \leq \frac{1}{L-1+n}$ ,  $0 < V_{lj}^1 \leq \frac{1}{L-1+k}$ ;

$W_{ji}^2$ ,  $V_{gl}^2$  початкове значення, що рекоменду-

ється, при навчанні:  $W_{ij}^1 = \frac{1}{1+n}$ ,  $V_{lj}^1 = \frac{1}{1+k}$  - ваги зв'язків від елементів шару, що розпізнає, до елементів інтерфейсного шару відповідно першого й другого модуля; початкове значення, що рекомендується, при навчанні:  $W_{ji}^2 = V_{gl}^2 = 1$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ;  $l=1, \dots, k$ );

$U_{\text{вих}} Y_j^1, U_{\text{вих}} Y_j^2$  ( $j=1, \dots, m$ ) - вихідні сигнали розпізнавальних елементів, відповідно першого й другого модуля нейронної мережі;

$U_{\text{вих}} S_i^1, U_{\text{вих}} S_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ) - вихідні сигнали елементів S-шару відповідно першого й дру-

гого модуля нейронної мережі;

$U_{\text{вх}} Z_i^1, U_{\text{вх}} Z_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ) - вхідні сигнали елементів інтерфейсного шару відповідно першого й другого модуля нейронної мережі;

$U_{\text{вих}} Z_i^1, U_{\text{вих}} Z_i^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ) - вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару відповідно першого й другого модуля нейронної мережі;

$(S_1^1, S_1^2), (S_2^1, S_2^2), \dots, (S_q^1, S_q^2)$  - пари асоціативних зображень, які запам'ятовуються обома модулями нейронної мережі;

$S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rn}^1), S_r^2 = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$ ,  $r=1, \dots, q$  - бінарні вхідні вектора  $r$ -ї пари асоціативних зображень відповідно для першого й другого модуля нейронної мережі;

$\|X\|$  - норма вектора  $X$ ;

$P_i (i=1, \dots, m)$  - нейрони проміжного шару, які зв'язують два модулі асоціативної нейронної мережі;

$H_{jt}^1$ ,  $Q_{jt}^1$  ( $j=1, \dots, m$ ;  $t=1, \dots, m$ ) - ваги зв'язку від елементів розпізнавального шару, до елементів проміжного шару відповідно першого й другого модуля нейронної мережі;

$H_{jt}^2$ ,  $Q_{jt}^2$  ( $j=1, \dots, m$ ;  $t=1, \dots, m$ ) - ваги зв'язку від елементів проміжного шару до елементів розпізнавального шару, відповідно першого й другого модуля нейронної мережі.

Алгоритм навчання двунправленої асоціативної пам'яті, припускає виконання наступних кроків:

Крок 1. Ініціюються параметри  $L$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  і ваги зв'язків,  $W_{ij}^1$ ,  $W_{ji}^2$ ,  $V_{lj}^1$ , и  $V_{gl}^2$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ;  $l=1, \dots, k$ ).

Крок 2. Задаються нульові вихідні сигнали всіх розпізнавальних елементів, обох модулів нейронної мережі:

$U_{\text{вих}} Y_j^1 = 0$ ;  $U_{\text{вих}} Y_j^2 = 0$ ;  $j=1, \dots, m$ .

Крок 3. Для кожної пари вхідних зображень  $S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rn}^1)$ ,  $S_r^2 = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$ ,  $r=1, \dots, q$  виконуються кроки 4-13.

Крок 4. Вхідними векторами  $S_r^1$  и  $S_r^2$  визначаються вихідні сигнали елементів  $S_i^1$  и  $S_i^2$  вхідних шарів обох модулів:

$U_{\text{вих}} S_i^1 = S_{r1}^1$ ;  $U_{\text{вих}} S_i^2 = S_{r1}^2$ ,  $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ .

Крок 5. Обчислюються норми векторів вихідних сигналів нейронів вхідного шару обох модулів:

$\|U_{\text{вих}} S^1\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{вих}} S_i^1$ ;  $\|U_{\text{вих}} S^2\| = \sum_{l=1}^k U_{\text{вих}} S_l^2$ .

Крок 6. Формуються вхідні й вихідні сигнали елементів інтерфейсних шарів першого й другого модуля нейронної мережі:

$U_{\text{вх}} Z_i^1 = U_{\text{вих}} S_i^1$ ;  $U_{\text{вх}} Z_i^2 = U_{\text{вих}} S_i^2$ ;  $i=1, \dots, n$ ;  $l=1, \dots, k$ ;

$$U_{Вих.Z_i^1} = U_{Вих.Z_i^2}; U_{Вих.Z_i^2} = U_{Вих.Z_i^2}; i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k.$$

Крок 7. Для кожного незагальмованого розпізнавального Y-нейрона першого й другого модуля нейронної мережі, розраховуються його вихідні сигнали:

$$U_{Вих.Y_j^1} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 U_{Вих.Z_i^1}, \text{ якщо } U_{Вих.Y_j^1} \neq -1, j = 1, \dots, m;$$

$$U_{Вих.Y_j^2} = \sum_{l=1}^k V_{lj}^1 U_{Вих.Z_l^2}, \text{ якщо } U_{Вих.Y_j^2} \neq -1, j = 1, \dots, m.$$

Крок 8. Поки не знайдені нейрони-переможці обох модулів, вагові вектора яких відповідно до заданих значень параметрів подібності  $p_1$  та  $p_2$  відповідають вхідним векторам  $S_r^1$  та  $S_r^2$ , виконуються кроки 9-12 (для обох або одного з модулів).

Крок 9. В Y-шарах обох модулів визначаються нейрони  $Y_{J1}^1$  й  $Y_{J2}^2$ , що задовольняють умові:

$$U_{Вих.Y_{J1}^1} \geq U_{Вих.Y_j^1}, U_{Вих.Y_{J2}^2} \geq U_{Вих.Y_j^2}, j = 1, \dots, m.$$

Якщо таких елементів декілька, то вибирається елемент з найменшим індексом. Якщо  $U_{Вих.Y_{J1}^1} = -1$  або (й)  $U_{Вих.Y_{J2}^2} = -1$ , то всі елементи одного з модулів (обох модулів) загальмовані й одне (оба) вхідні зображення не можуть бути запам'ятовані.

Крок 10. Розраховуються вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару  $Z_i^1$  ( $i = 1, \dots, n$ ) й  $Z_l^2$  ( $l = 1, \dots, k$ ) відповідно першого й другого модуля нейронної мережі:

$$U_{Вих.Z_i^1} = U_{Вих.S_i^1} W_{J1,i}^2, i = 1, \dots, n;$$

$$U_{Вих.Z_l^2} = U_{Вих.S_l^2} V_{J2,l}^1, l = 1, \dots, k.$$

Крок 11. В обох модулях обчислюються норми векторів вихідних сигналів нейронів інтерфейсного шару:

$$\|U_{Вих.Z_i^1}\| = \sum_{i=1}^n U_{Вих.Z_i^1}; \|U_{Вих.Z_l^2}\| = \sum_{l=1}^k U_{Вих.Z_l^2}.$$

Крок 12. Перевіряється по параметрах подібності  $p_1$  та  $p_2$  правильність вибору нейронів-переможців  $Y_{J1}^1$  та  $Y_{J2}^2$  відповідно першого й другого модуля нейронної мережі. Якщо

$$p = \frac{\|U_{Вих.Z_i^1}\|}{\|U_{Вих.S_i^1}\|} < p_1, \text{ то умова не виконується, елемент } Y_{J1}^1 \text{ загальмовується: } U_{Вих.Y_{J1}^1} = -1;$$

здійснюється перехід до кроку 8 алгоритму. Якщо  $p \geq p_1$ , то умова, що підтверджує правильність вибору нейрона-переможця  $Y_{J1}^1$  першого модуля виконується й здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. При цьому нейрону-переможцю присвоюється одиничне значення вихідного сигналу

$U_{Вих.Y_{J1}^1} = 1$ , а всі інші нейрони, розпізнавального шару першого модуля, переводяться в неактивний стан:  $U_{Вих.Y_j^1} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J1$ .

Аналогічним образом проводиться перевірка правильного вибору нейрона-переможця  $Y_{J2}^2$ , другого модуля нейронної мережі.

Крок 13. Адаптуються ваги зв'язків елементів

$Y_{J1}^1$  та  $Y_{J2}^2$ :

$$W_{iJ}^1 = \frac{LU_{Вих.Z_i^1}}{L-1 + \|U_{Вих.Z_i^1}\|}; V_{lJ}^1 = \frac{LU_{Вих.Z_l^2}}{L-1 + \|U_{Вих.Z_l^2}\|}; i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k;$$

$$W_{Ji}^2 = U_{Вих.Z_i^1}; V_{Jl}^2 = U_{Вих.Z_l^2}; i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, k.$$

Крок 14. Перевіряється умова закінчення навчання обох модулів мережі, якщо вони не виконуються, то триває навчання одного або обох модулів мережі, у противному випадку здійснюється перехід на наступний крок алгоритму з метою визначення ваг зв'язків нейронів P-шару.

Крок 15. Для кожної пари вхідних зображень  $(S_r^1, S_r^2)$ ,  $r = 1, \dots, q$  виконуються кроки 16-18.

Крок 16. Вхідними зображеннями  $S_r^1, S_r^2$ , що подаються відповідно на входи першого й другого модуля нейронної мережі, визначаються нейрони-переможці  $Y_{J1r}^1, Y_{J2r}^2$  першого й другого модуля мережі.

Крок 17. Визначаються ваги зв'язків між нейроном-переможцем  $Y_{J1r}^1$  та елементами P-шару:

$$H_{J1r,J1r}^1 = H_{J1r,J1r}^2 = 1; H_{J1r,J1r}^1 = H_{J1r,J1r}^2 = 0, j = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J1r.$$

Крок 18. Визначаються ваги зв'язків між нейроном-переможцем  $Y_{J2r}^2$  та елементами P-шару:

$$Q_{J1r,J2r}^2 = Q_{J2r,J1r}^1 = 1; Q_{J1r,k}^2 = Q_{J2r,j}^1 = 0, k, j = 1, \dots, m; k \neq J2r, j \neq J1r.$$

Крок 19. Кінець.

Алгоритм роботи, у режимі визначення асоціативних зображень, пристрою двонаправленої асоціативної пам'яті, передбачає виконання наступних кроків:

Крок 1. Ініціюються параметри  $L, p_1, p_2$  та ваги зв'язків  $W_{ij}^1, W_{ji}^2, V_{ij}^1, V_{jl}^2, H_{jt}^1, H_{tj}^2, Q_{jt}^1, Q_{tj}^2$  ( $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; l = 1, \dots, k; t = 1, \dots, m$ ).

Крок 2. На вхід одного з модулів мережі подається вхідне зображення. Допустимо, що вхідне зображення  $S_r^1$  подається на вхід першого модуля мережі. Тоді аналогічним образом, як і в алгоритмі навчання, визначається нейрон-переможець  $Y_{J1r}^1$  першого модуля нейронної мережі.

Крок 3. Визначається нейрон-переможець  $Y_{J2r}^2$  другого модуля нейронної мережі. Він виділяється не у результаті змагання між розпізнаю-

щими елементами другого модуля, а одиничним сигналом елемента  $P_{J1r}$ , який у свою чергу, в активний стан переводиться нейроном-переможцем  $Y_{J1r}^1$ :

$$U_{\text{вих.}Y_{J2r}^2} = 1, U_{\text{вих.}Y_j^2} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J2r.$$

При цьому вихідному сигналу нейрона-переможця  $Y_{J2r}^2$  присвоюється одиничне значення  $U_{\text{вих.}Y_{J2}^2} = 1$ , а всі інші нейрони переводяться в неактивний стан:

$$U_{\text{вих.}Y_j^2} = 0, j = 1, \dots, m, j \neq J2.$$

Крок 4. Розраховуються вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару  $Z_l^2$  ( $l=1, \dots, k$ ) другого модуля нейронної мережі:

$$U_{\text{вих.}Z_l^2} = V_{J2r,l}^2, l = 1, \dots, k.$$

Крок 5. Формуються вхідні й вихідні сигнали елементів вхідного шару  $S_l^2$  ( $l=1, \dots, k$ ) другого модуля нейронної мережі:

$$U_{\text{вих.}S_l^2} = U_{\text{вих.}Z_l^2}, l = 1, \dots, k,$$

$$U_{\text{вих.}S_l^2} = U_{\text{вих.}S_l^2}, l = 1, \dots, k.$$

Отримане на виході другого модуля зображення  $S_r^2 = (S_{r1}^2, \dots, S_{rk}^2)$ , є асоціацією зображенню

$S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rn}^1)$  ( $r=1, \dots, q$ ), що подається на елементи вхідного шару першого модуля нейронної мережі.

Крок 6. Кінець.

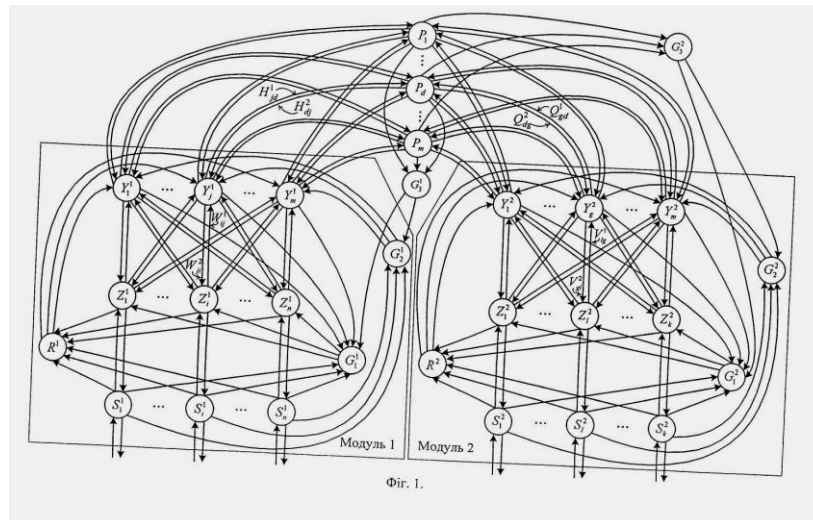
Таким чином розроблений пристрій двонаправленої асоціативної пам'яті має можливість донавчання в процесі свого функціонування та здатен відокремлювати нові образи від перекручених або зашумлених відомих образів.

Джерела інформації:

1. Патент на винахід №2193797, кл. G 06 G 7/60, 1991.

2. Посвідчення на корисну модель №52646, кл. G 06 F 19/00, 2005.

3. Fausett L. Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Applications. - New Jersey: Prentice Hall Int., Inc., 2005. - 461p.



Фиг. 1.