

# Нейроструктури та нейрообчислення: застосування INTERNET

Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Л. Пехан,  
В. В. Хом'юк, О. Б. Мартинюк<sup>1</sup>

Україна, Вінниця, державний технічний університет  
тел. (0432) 325718, факс (0432) 465772, e-mail: [psv@vstu.vinnica.ua](mailto:psv@vstu.vinnica.ua)  
<sup>1</sup> Україна, Ялта, Кримський державний гуманітарний інститут  
тел/факс (0654) 323013, e-mail: [office@cshi.ftrace.net](mailto:office@cshi.ftrace.net)

Information concerning neurostructures and neurocalculations is currently of growing interest because of the latest achievements in the area of information and calculation technologies. It provides for a new approach to unsolved problems of neuron simulation as well as promising application of neuronetworks.

## Вступ

Великий попит на інформацію щодо нейроструктур та нейрообчислень пов'язаний не тільки з природним інтересом до можливостей мозку та вищої нервової системи людини, але й з необхідністю вдосконалення як організації, так і роботи штучних інтелектуальних систем і в результаті наближення до найбільш повного відображення при моделюванні інтелектуальної діяльності людини [1-4]. Великі наукові центри розміщують на сайтах INTERNET важливі відомості щодо теоретичних та практичних результатів в області нейрокомп'ютингу [5-10]. Класичною вважається класифікація відомих видів нейроструктур [11, 12]. Разом з тим поширення сфери застосування нейроструктур потребує модернізації та перетворення їхньої організації, що, в свою чергу, призводить до необхідності доповнення та вдосконалення відомої класифікаційної моделі. Це пояснюється тим, що будь-яка стандартна нейроструктура та відповідний нейропакет мають обмежені області застосування, тобто не є універсальними [13].

В роботі представлена структура нейроподібної мережі, яка призначена для сортування масивів даних, і тому в подальшому позначається як S-мережа. Ця мережа є різновидом відомої двонапрямленої асоціативної пам'яті (ДАП), яка, в свою чергу, є результатом вдосконалення мережі Хопфілда [11].

## Особливості структури ДАП

ДАП на відміну від мережі Хопфілда є двошаровою структурою (рис. 1), в якій вхідний вектор **A** обробляється матрицею ваги **W** і формується вектор **B** вихідних сигналів мережі на виході шару 2. Вектор **B** обробляється транспонованою матрицею **W<sup>T</sup>** і формується новий вхідний вектор **A** на виході шару 1 мережі. Шари 1 і 2 містять нейрони, які формують суму зважених входів і обчислюють функцію активації (виконують нелінійне перетворення). Крім того, існує необхідність у застосуванні пам'яті у кожному нейроні у шарах 1, 2 [11]. Шар 0 не виконує обчислень і не має пам'яті, оскільки він призначений для розподілення вихідних сигналів шару 2. У векторній формі функціонування шарів 1, 2 можна представити таким чином:

$$\mathbf{B} = F(\mathbf{AW}), \quad (1)$$

$$\mathbf{A} = F(\mathbf{BW}^T), \quad (2)$$

де  $F$  – функція активації;  $T$  – символ транспонування;  $W$  – матриця ваги зв'язків між шарами 1 і 2.

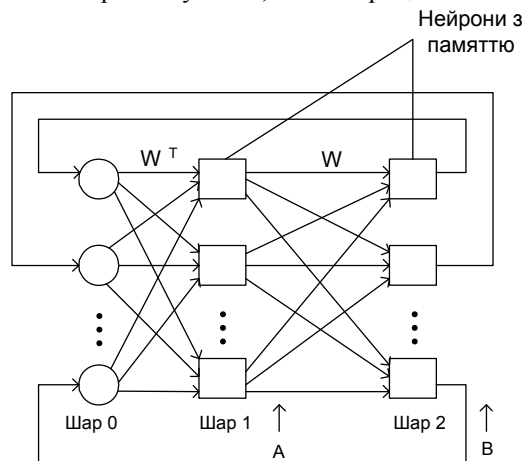


Рис. 1 Двонапрямлена асоціативна пам'ять

Доведена стабільність цієї мережі. У стабільному стані вектори  $A$  і  $B$  не змінюються. Крім того доведена можливість створення адаптивної ДАП, тобто ДАП з навчанням без вчителя [11]. Для подальшого викладення доцільно ДАП представити так, щоб шари 1 і 2 мали однакову структуру, а також показати початковий вхідний вектор  $A_0$ , для чого необхідно ввести другий шар 0 перед шаром 2 з наданням йому функції мультиплексування (рис. 2).

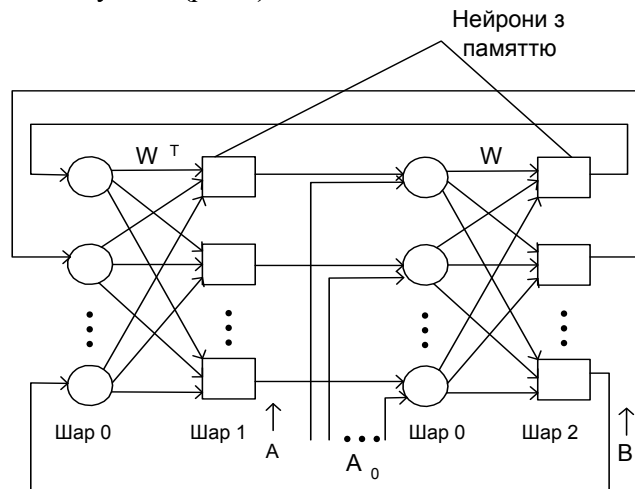


Рис. 2 Розширена структура ДАП

### Структура S-мережі

Для реалізації сортування на нейроподібній мережі був обраний метод парного обміну з підрахунком як один зі швидких апаратних методів сортування. Крім того, цей метод дозволяє, використовуючи масив рангів, зберегти початковий числовий масив [14]. На рис. 3 представлена структура S-мережі для сортування.

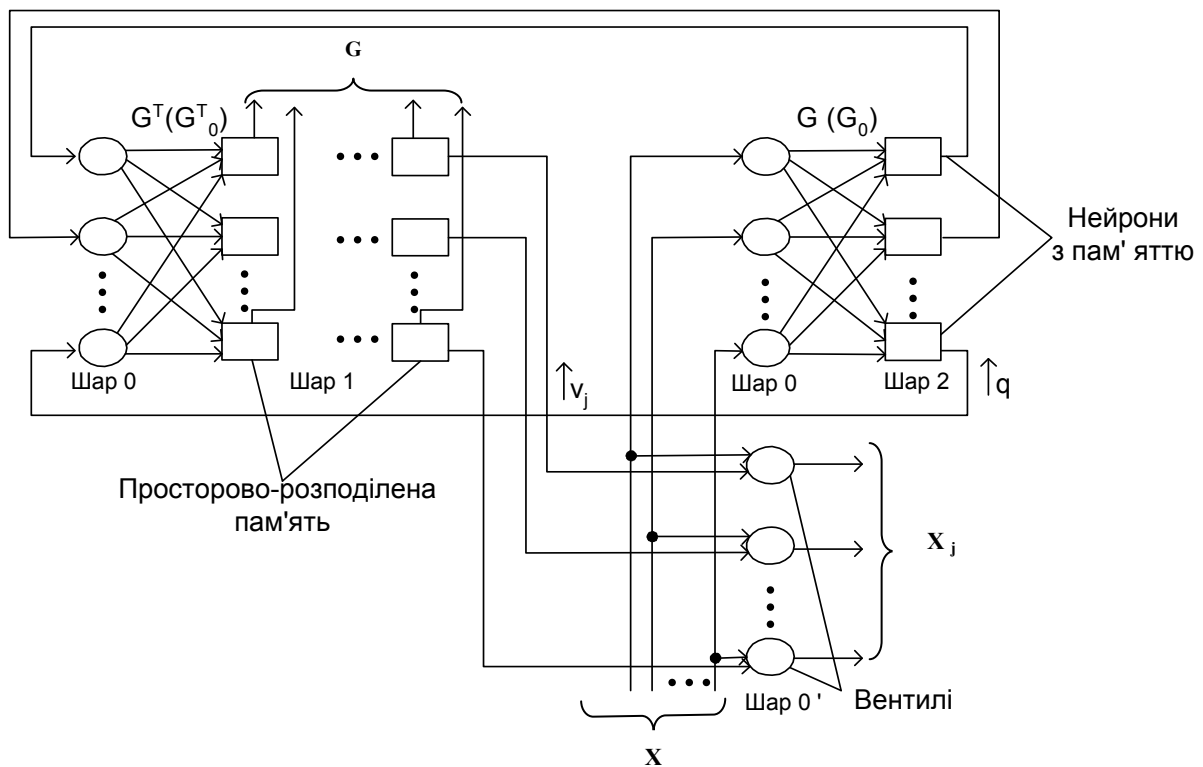


Рис. 3 Адаптивна S-мережа

Вона, як і ДАП, має два основних шари 1, 2 і два допоміжних шари 0, але тільки шар 2 містить нейрони з пам'яттю. Шар 1 має структуру просторово-розподіленої пам'яті. Крім того, додається ще один проміжний шар  $0'$ , який складається з вентилів. Вхідний вектор  $\mathbf{x}$  подається на входи шарів 2 і  $0'$ , причому на входи шару 2 подається також початкова матриця ваги  $\mathbf{G}_0$ , а на виходах формується вектор зв'язків  $\mathbf{q}$ , кожний елемент якого є виходом відповідного бінарного нейрона з пороговою функцією:

$$q_i = f(l_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } l_{(2k-1)} < l_{2k}, \\ 0, & \text{якщо } l_{(2k-1)} \geq l_{2k}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $k = \lceil n/2 \rceil$  – найближче більше число;  $n$  - розмірність вхідного числового вектора  $\mathbf{x}$ ;  $\mathbf{l}$  - проміжний вектор, який формується таким чином:

$$\mathbf{l} = \mathbf{x} \cdot \mathbf{G}. \quad (4)$$

Шаром 1 обробляється вектор  $\mathbf{q}$  за допомогою матриці ваги  $\mathbf{G}^T$  (у першому циклі -  $\mathbf{G}_0^T$ ) і формується на виході вектор підстановки  $\mathbf{v}_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ , який подається на входи шару  $0'$ , де приймає участь у формуванні вихідного вектора  $\mathbf{X}_j$ .

Вектор  $\mathbf{v}_j$  є вектор-стовпцем матриці ваги  $\mathbf{G}$ , яка формується у шарі 1. В залежності від ознаки сортування (за зростанням чи спаданням числових значень елементів масиву) послідовно зчитуються стовпці матриці  $\mathbf{G}$ , починаючи зі старшого або молодшого. Перед початком роботи мережі у шар 1 завантажуються початкова матриця ваги  $\mathbf{G}_0$  у вигляді одиничної діагональної матриці. У першому циклі роботи саме вона подається на входи обох шарів 1, 2, а у наступних  $j$ -х циклах у шарі 1 формується поточна матриця ваги  $\mathbf{G}$ , яка також подається на входи обох шарів 1, 2 і елементи  $g_{ij}$  якої мають вигляд:

$$g_{ij} = \varphi(q_i) = \begin{cases} g_{i,j-1} + 1, & \text{якщо } q_i^+ = 1, \\ g_{i,j-1} - 1, & \text{якщо } q_i^- = 1, \end{cases} \quad (5)$$

причому  $q_i^+$ ,  $q_i^-$  –  $i$ -ті елементи векторів  $\mathbf{q}^+$ ,  $\mathbf{q}^-$  відповідно, які формуються таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_p^+ &= \mathbf{q} \cdot \mathbf{G}_p^T, \\ \mathbf{q}_p^- &= \mathbf{q} \cdot \mathbf{G}_{p+1}^T, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\mathbf{G}_p$ ,  $\mathbf{G}_{p+1}$  - матриці ваги  $\mathbf{G}$ , які утворюються відповідно з непарних ( $p=1$ ) і парних ( $p=2$ ) стовпців матриці ваги  $\mathbf{G}$ ;  $p \in \{1, 2\}$ ;  $\mathbf{q}_p^+$ ,  $\mathbf{q}_p^-$  - вектори, які призводять відповідно до збільшення або зменшення на одиницю рангів у  $p$ -му циклі сортування.

Таким чином, шар 1 у вигляді просторово-розподіленої пам'яті, яка є пам'яттю рангів, має матричну структуру ( $n \times n$ ), де основною операцією є реверсивний зсув інформації вздовж рядків матриці. Функціонально пам'ять рангів забезпечує можливість як паралельного зчитування поточної матриці ваги  $\mathbf{G}$ , так і послідовне зчитування векторів підстановки  $\mathbf{v}_j$ . В подальшому для дослідження збіжності S-мережі необхідно показати, що функція  $E$  обчислювальної енергії мережі вигляду

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \mathcal{G} \left( \sum_{k=1}^n f(x_k, x_i) - (n - j + 2) \right) - \mathcal{G} \left( \sum_{s=1}^n f(x_s, x_i) - (n - j + 1) \right) \right) v_{ij} \quad (7)$$

є монотонно спадаючою функцією.

Слушність розглянутої моделі мережі доведена у роботі [15], а можливість реалізації на оптоелектронній елементній базі – у роботі [16].

## Висновки

1. Аналіз виразів (3) – (6) дає можливість представити функціонування обох шарів 1, 2 S-мережі (рис. 3) у такий спосіб:

$$\mathbf{q} = F'(\mathbf{x} \cdot \mathbf{G}), \quad (8)$$

$$\mathbf{v}_j = \Phi(\mathbf{q} \cdot \mathbf{G}^T), \quad (9)$$

де  $F'$  - специфічна функція активації вигляду (3);  $\Phi$  – непорогова функція оброблення вигляду (5). Порівняння співвідношень (1), (2) і (8), (9) відповідно дозволяє розглядати S-мережу як різновид ДАП.

2. Особливістю S-мережі є те, що організація шару 1 у вигляді просторово-розподіленої пам'яті забезпечує можливість формування поточних матриць ваги  $\mathbf{G}$  самою мережею за певним правилом оброблення, яке реалізують обидва шари 1, 2. Таким чином, дана мережа є адаптивною.
3. Являючись різновидом гетероасоціативної ДАП, S-мережа також дозволяє визначати асоціації між вхідним і вихідним векторами, які в цьому випадку можна розглядати як ознаки відсортованості послідовності вихідних векторів  $\mathbf{X}_j$  по відношенню до вхідного вектора  $\mathbf{x}$ .

## Література

1. Каляев А. В., Галуев Г. А. Современное состояние и перспективы развития нейрокомпьютерной техники // Электронное моделирование. – 1980. – Т. 12. - № 2. – С. 14 – 19.
2. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры восьмидесятых (начало очередной революции в области нейрокомпьютеров)// Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. - № 1. – С. 3-16.
3. Хехт-Нильсен Р. Нейрокомпьютинг: история, состояние, перспективы // Открытые системы. – 1998. - № 4.
4. Галушкин А. И. Некоторые исторические аспекты развития элементной базы вычислительных систем с массовым параллелизмом (80- и 90-е годы) // Нейрокомпьютер. – 2000. - № 1. – С. 68 – 82.
5. <http://neurnews.iu4.bmstu.ru>
6. <http://www.module.ru>
7. <http://www.analog.com>
8. <http://www.ti.com>
9. <http://www.insys.ru>
10. <http://cdl.in4.bmstu.ru>
11. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 240 с.
12. Джейн А. К., Мао Ж., Моиуддин К. М. Введение в искусственные нейронные сети // Открытые системы. – 1997. - № 4. – С. 16 – 24.
13. Логовский А. С., Якушев Д. Ж. Нейропакеты: что, где, зачем // Зарубежная радиоэлектроника. – 1997. - № 2. – С. 11 – 18.
14. Лорин Г. Сортировка и системы сортировки: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
15. А. с. 1793438, МКИ G06F7/06. Устройство для сортировки чисел/ В. П.Кожемяко, Т. Б. Мартынюк и др. - № 4735756/24: Заявлено 05. 09. 93; Опубл. 07. 02. 93, Бюл. № 5. – 14 с.
16. Мартинюк Т. Б., Лисенко Г. Л., Суприган В. А., Аль-Хияри М. М. Процесор сортування чисел на базі оптоелектронних інтегральних схем // Вісник Національного технічного університету України. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К. : “Век +”, 2000. - № 34. – С. 18 – 25.