

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АРХІТЕКТУРИ СПАЙКОВИХ НЕЙРОКОМП'ЮТЕРІВ

Колесницький Олег

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У доповіді уточнено визначення термінів нейрокомп'ютер та архітектура нейрокомп'ютера, обґрунтовано вибір спайкових нейромереж як операційного блоку нейрокомп'ютера. На основі аналізу сучасного рівня знань щодо архітектури нейрокомп'ютерів і на основі їх узагальнення сформульовано принципи побудови архітектури спайкових нейрокомп'ютерів за аналогією з відомими принципами побудови цифрових комп'ютерів фон Неймана.

### Abstract

The report clarified definitions neurocomputer and neural computer architecture, the choice of spiking neural networks as neural computer operation unit. Based on analysis of the current level of knowledge on architecture and neuro-computers based on their generalization formulated principles of architecture neural computers spiking similar to the known principles of digital computers von Neumann.

### Вступ

У науковій літературі існує велика кількість інформації про різноманітні архітектури побудови нейрокомп'ютерів. Оскільки всі відомі нейрокомп'ютери можна розділити на 3 великих класи (програмні, програмно-апаратні та апаратні), то і архітектури також можна розглядати для програмних, програмно-апаратних та апаратних нейрокомп'ютерів [1]. Максимум переваг нейрокомп'ютерів перед традиційними комп'ютерами можна отримати тільки при їх апаратній реалізації [1,2], тому розглянемо архітектури апаратних нейрокомп'ютерів.

### Удосконалення принципів побудови архітектури нейрокомп'ютера

Проблемою сьогодення є створення апаратних нейрокомп'ютерів з великою кількістю енергоекономних нейронів та нейроморфними принципами організації: безпосередні зв'язки між фізично відокремленими спайковими нейронами, адаптивне навчання без використання обчислювальних процедур.

Архітектура комп'ютера включає в себе як структуру, що віддзеркалює склад комп'ютера, так і програмно – математичне забезпечення. Структура комп'ютера – це сукупність елементів і зв'язків між ними.

Основи вчення про архітектуру цифрових комп'ютерів були закладені Джоном фон Нейманом. Сукупність цих принципів породила класичну (фон-нейманівську) архітектуру ЕОМ. Фон Нейман не тільки сформулював фундаментальні принципи логічної будови ЕОМ, але і запропонував її структуру, представлену на рис.1.

Згадаємо принципи фон Неймана:

1. Принцип двійкового кодування: вся інформація в комп'ютері представляється у двійковому вигляді, сполучення 0 і 1.

2. Принцип однорідності пам'яті: і програми і дані зберігаються в одній і тій самій пам'яті. Над командами можна здійснювати такі самі дії, що і над даними.

3. Принцип адресованості пам'яті: структурно основна пам'ять (ОП) складається з пронумерованих комірок, центральному процесору (ЦП) в будь-який момент часу доступна будь-яка комірка пам'яті.

4. Принцип послідовного програмного управління: програма складається із сукупності команд, які виконуються ЦП автоматично у визначеній послідовності.

5. Принцип умовного переходу: можлива присутність команд умовного переходу, які змінюють послідовність виконання команд в залежності від значення даних, що зберігаються.

Архітектура нейрокомп'ютера — це сукупність концептуальної структури нейрокомп'ютера та фундаментальних принципів функціонування та взаємодії його складових частин, які включають методи представлення та обробки інформації, навчання та організації зручного інтерфейсу з користувачем. Яка має бути архітектура нейрокомп'ютера? В науково-технічній літературі дуже мало публікацій, що стосуються архітектури абстрактного нейрокомп'ютера та його концептуальної узагальненої структури. Є багато інформації по структурах і архітектурах різноманітних типів нейронних мереж (багатошаровий перцептрон, мережа Хопфілда, мережа Хеммінга та ін..). Також є структури і архітектури конкретних (а не абстрактних) нейропроцесорів (напр., на основі векторно-матричних операцій), нейроплат або «векторно-матричних» нейрокомп'ютерів [1], орієнтованих на конкретну елементну базу (напр., ПЛІС) чи конкретну структуру нейронної мережі на формальних чи аналогових нейронах. Приклад узагальненої структури нейрокомп'ютера, яка корелюється з іншими подібними роботами наведено у [3].

Спайкові нейронні мережі завдяки нейроморфності мають перед традиційними, крім універсальності, ще й такі переваги [2,4]: 1) **розпізнавання динамічних образів** (мова, динамічні зображення і т.і.); 2) **багатозадачність** (інформація про вхідні потоки циркулює в рекурентній нейромережі і на вихід одночасно можуть бути подані результати різних задач за допомогою різних груп вихідних нейронів, навчених на виконання тієї чи іншої задачі); 3) **розпізнавання з передбаченням** (будь-який динамічний процес може бути розпізнаний навіть раніше, ніж він закінчиться); 4) **простота процедури навчання** (навчаються не всі нейрони мережі, а тільки вихідні зчитувальні нейрони); 5) **підвищена продуктивність обробки інформації та завадостійкість** завдяки імпульсному (спайковому) представленню інформації.

Саме завдяки цим перевагам спайкові нейронні мережі є найперспективнішою архітектурою для побудови операційного ядра нейрокомп'ютерів [5].

Таким чином, структура абстрактного нейрокомп'ютера може бути подана схемою згідно рис. 2, а архітектурні принципи його побудови сформульовано так:

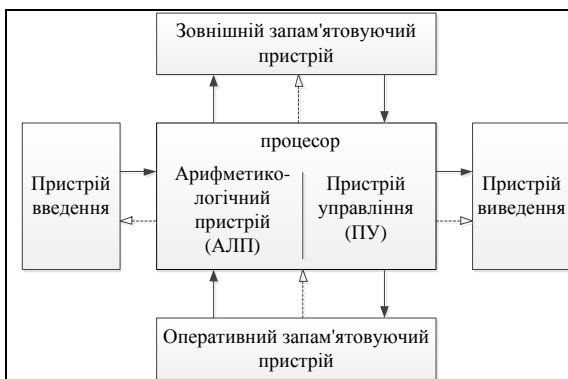


Рис. 1. Архітектура цифрового комп'ютера, побудованого на принципах фон Неймана.

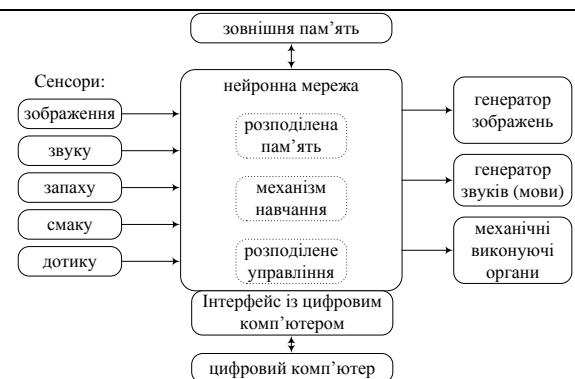


Рис. 2. Удосконалена узагальнена структурна схема абстрактного нейрокомп'ютера

1) Принцип імпульсного кодування: вся інформація в нейрокомп'ютері представляється в імпульсній (спайковій) формі (інформація кодується моментами появи імпульсів).

2) Принцип асоціативності обробки: Основним процесорним ядром нейрокомп'ютера є апаратно реалізована мережа біологічно-реалістичних спайкових

нейронів максимально можливої кількості, які зв'язані між собою безпосередньо. Нейронна мережа не виконує обчислень, а трансформує вхідний сигнал (образ) у вихідний відповідно до своєї топології та значень коефіцієнтів міжнейронних зв'язків.

3) Принцип автономності та адаптивності навчання: навчання нейрокомп'ютера на виконання заданого відображення має відбуватися автономно на основі адаптації, а механізм навчання має бути закладений в організацію його процесорного ядра (нейронної мережі).

4) Принцип розподіленості пам'яті: функції запам'ятовування у нейрокомп'ютері реалізуються його процесорним ядром (нейронною мережею), а окрема зовнішня пам'ять має допоміжне значення;

5) Принцип природності інтерфейсу: нейрокомп'ютер повинен мати звичний для природи людини інтерфейс, тобто розуміти і генерувати мову, зображення і мати сенсорні поля, аналогічні п'яти відчуттям людини, а також мати виконувальні механічні органи для руху у просторі та орієнтації своїх сенсорних полів;

6) Принцип однорідності обробки і управління: функції управління функціональними частинами нейрокомп'ютера реалізуються його процесорним ядром (нейронною мережею);

7) Принцип підсилення цифровим комп'ютером: нейрокомп'ютер повинен мати у своєму складі цифровий комп'ютер, який використовується для вирішення формалізованих завдань. Нейрокомп'ютер управляє цифровим комп'ютером (ставить йому формалізовані завдання, з якими той справляється краще і швидше) через відповідний інтерфейс.

Відповідно до цих принципів можна дати таке визначення нейрокомп'ютера:

Нейрокомп'ютер – це комплекс технічних засобів для обробки інформації, основним процесорним блоком якого є апаратно реалізована великомасштабна мережа спайкових нейронів; який має звичні для природи людини вербально-візуальний інтерфейс і сенсорні поля; та виконує когнітивні функції, властиві мозку людини.

Нейрокомп'ютер згідно цього визначення суттєво відрізняється від всіх попередніх програмних, програмно-апаратних та апаратних нейрокомп'ютерів на основі цифрових чи аналогових потенційних штучних нейронів. Його можна відокремити від них, надавши йому таку характеристику, як «природній нейрокомп'ютер», тому що він має бути так само інтелектуальним, творчим і самосвідомим, як людина. Жодна така машина поки ще не була побудована, але це - лише тема часу.

### Список використаних джерел:

1. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры. Кн. 3: [учебное пособие для вузов] / А. И. Галушкин. - М. : ИПРЖР, 2000. - 528 с. – ISBN 5-93108-007-4.
2. Бардаченко В. Ф. Перспективи застосування імпульсних нейронних мереж з таймерним представленням інформації для розпізнавання динамічних образів // В.Ф.Бардаченко, О.К.Колесницький, С.А.Василецький // УСiМ. – 2003, №6. - С. 73-82.
3. Комарцова Л. Г. Нейрокомпьютеры : учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов. – М. : изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2004. – 400 с: ил. – ISBN 5-7038-2554-7
4. Pulsed Neural Networks / W. Maass and C. M. Bishop, editors. - MIT Press : Cambridge. - 2001. - 377 p. ISBN 0-262-13350-4.
5. Kolesnytskyj O. K. Optoelectronic Implementation of Pulsed Neurons and Neural Networks Using Bispin-Devices / O. K. Kolesnytskyj, I. V. Bokotsey, S. S. Yaremchuk // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol.19. – №2. – P.154–165. – ISSN 1060-992X.