

УДК 621.398:007

Світлана Наконечна

### ВИХІДНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ СТВОРЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ІЄРАРХ-ІЄРАРХІЧНИХ МЕРЕЖ

*В статті розглянуто вихідні теоретичні положення створення паралельних ієрарх-ієрархічних мереж. Здійснено аналіз методологічних особливостей реалізації паралельно-ієрархічного перетворення, пірамідального оброблення інформаційних середовищ. Розглянуто структуру паралельно-ієрархічної мережі нейроподібного типу та структуру ієрарх-ієрархічної мережі.*

*В статье рассмотрены исходные теоретические положения создания паралельных иерарх-иерархических сетей. Осуществлен анализ методологических особенностей реализации паралельно-иерархического превращения, пирамидальной обработки информационных сред. Рассмотрена структура паралельно-иерархической сети нейроподобного типа и структура иерарх-иерархической сети.*

*In article initial theoretical positions of creation of parallel hierarch-hierarchical networks are considered. The analysis of methodological features of realization of parallel-hierarchical transformation, pyramidal processing of information environments is carried out. The structure of parallel-hierarchical network neural-like type and structure of the hierarch-hierarchical network is considered.*

**Ключові слова:** паралельна ієрарх-ієрархічна мережа, нейрон, квантування, пірамідальна обробка, нейроподібна обробка, інформаційні потоки, часовий зсув.

**Актуальність проблеми.** Стрімкий перехід сучасних систем управління на цифрові стандарти привів до необхідності обробляти з високою швидкістю надвеликі обсяги інформації. Складна обробка й фільтрація сигналів, маршрутизація інформаційних потоків, класифікація і прогнозування швидкозмінних динамічних даних у реальному часі вимагає застосування досить продуктивних інтелектуальних обчислювальних систем. Подібні системи можуть бути реалізовані в різноманітних методологічних базисах та на різноманітній елементній базі, але найбільшого поширення на сучасному етапі одержали паралельні технології.

**Постановка задачі.** Теоретичні положення для створення паралельних ієрарх-ієрархічних мереж. Ієрархічна мережа – багаторівнева мережа, побудована на базі технічних засобів, різних за структурою, але однорідних на кожному рівні з'єднань [7].

© Наконечна С. В., 2011

Вихідні теоретичні положення базуються на з'ясуванні і створенні математичних моделей ПІ-перетворення, запису, передачі, обробки і подання машинної інформації. Початковою є така аксіома: множина аналогових операндів, така як міра інформації в найбільш стислій формі може бути подана у вигляді сукупності коефіцієнтів паралельно-ієрархічного розкладання, дискретизація яких у ПЧ-області жорстко визначається структурою ПІ-мережі.

Виходячи з умови досягнення максимальної швидкодії обчислювальних структур, для забезпечення найбільшого ущільнення в поєднанні з природним паралелізмом, необхідна організація такої гнучкої (що легко перебудовується) мережної алгоритмічної структури, «скелет» якої заздалегідь жорстко визначений.

Вимоги до організації подібної мережної структури, яка може знайти широке застосування в теорії і практиці різноманітних областей науки і техніки як універсальний інструмент дослідження інформаційних полів, містять традиційні (що стосуються програмної частини) і нетрадиційні вимоги. Для знаходження математично обґрунтованих зв'язків між рівнем якості конкретної алгоритміки й архітектури ПІОС із максимально можливою ефективністю ПІ-перетворення, сформульовано теорему граничного ущільнення інформації. [3].

*Теорема.* Для ПІ-перетворення в умовах допустимого вибору числової інформації на кожному рівні її обробки існує мінімальний час перетворення, при якому число вихідних коефіцієнтів перетворення з найбільшою ймовірністю відповідає ідеальній моделі.

Нехай  $\tau_k$ , де  $k = 1, 2, \dots$  час вибору довільного елемента з масиву інформації. Позначимо через  $T_n = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$  час вибору всіх елементів із вхідного масиву інформації. Якщо елементи вхідного масиву інформації незалежні випадкові величини, розподілені за цілком визначеним законом, то через ідентичність виконаних у кожному циклі операцій,  $\tau_1, \tau_2, \dots$  однаково розподілені незалежні величини.

Нехай  $F(t)$  – функція розподілення випадкової величини  $T_n$ , тобто  $F_n(t) = P(t \geq T_n)$ . Позначимо  $m(t)$  кількість циклів вибору елементів вхідного масиву інформації,  $k_n$  – кількість однакових елементів у вхідному масиві інформації.

Отже, для дослідження процесу перетворення інформації важливо знайти функцію  $P_{n-k_n}(t)$  – ймовірність того, що за час  $t$  відбувається вибір  $n - k_n$  різноманітних елементів із вхідного масиву інформації за  $n - k_n$  кроків і величину  $t_{n-k_n}$  – час, при якому ймовірність  $P\{m(t) = n - k_n\}$ , буде найбільшою. Для знаходження  $P_{n-k_n}(t)$  необхідно зробити припущення про розподіл випадкової величини  $\tau_k$ ,  $k = 1, 2, \dots$  Природно вважати, що  $\tau_k$  підпорядковується нормальному розподілу [4].

Наслідок 1. Максимальна швидкодія ПІОС паралельного запису-зчитування інформації досягається ПЧ-квантуванням оптимально критеріального часу кількістю послідовно сформованих коефіцієнтів (хвостових елементів) ПІ-перетворення.

Наслідок 2. Для досягнення реального масштабу часу при мінімальній складності паралельно-ієрархічних алгоритмічних і технічних засобів операнди числового поля повинні оброблятися на основі методу ПІ-перетворення; а при записі, збереженні і зчитуванні інформації здійснюється за допомогою ПІ-кодів.

Наслідок 3. ПІ-перетворення дозволяє здійснити принцип розподіленої мережної обробки, що дуже істотно при реалізації однорідних нейроподібних обчислювальних структур.

Приведене теоретичне джерело важливе у теорії штучних нейронних мереж. Розглянемо  $N$  мережу, яка побудована з нейронів, сполучених між собою у відповідності зі статичною топологією. Функціонування такої мережі описується вектором стану  $\omega(t) = [\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_m(t)]$ ,  $\omega_k(t)$  – миттєва частота розрядів  $k$ -го нейрона. При з'єднанні  $kl$  частина  $n_{kl}$  імпульсів, які видаються  $k$ -м нейроном, надходить у  $l$ -й нейрон. Вхідний сигнал  $k$ -ї клітини в момент  $t$  складається із сигналів, породжуваних джерелами, які знаходяться на різноманітних відстанях від цієї клітини, і відповідно, у зв'язку з скінченністю швидкості поширення, виникає запізнювання за часом [4]. Сумуючи, одержуємо вхідний сигнал:

$$\omega_k^{ex}(t) = \sum_l n_{kl} \omega_l^{in} \left( \frac{t - d(k, l)}{v} \right), \quad (1.1)$$

де  $d(k, l)$  – довжина волокна між  $k$ -м і  $l$ -м нейронами.

Для сигналу на виході того самого нейрона маємо:

$$\omega_k^{out} = \chi_k^{ex}(t) \quad (1.2)$$

У результаті ми приходимо до системи рівнянь – рівняння мережі:

$$\chi^{-1} \omega_k^{ex}(t) = \sum_l n_{kl} \omega_l \left( \frac{t - d(k, l)}{v} \right) + y_k(t), \quad (1.3)$$

де  $y_k(t)$  – додатковий вхідний сигнал.

Мережа  $N$  містить астрономічну кількість клітин  $m$ , і тому суму (1.3) можна апроксимувати інтегралом. Якщо ввести матричнозначну функцію  $N(L)$  так, що  $(k, l)$  – елемент  $N(L)\Delta L$  приблизно задається так:

$$(N(L)\Delta L) = \begin{cases} n_{kl}, & \text{якщо } L \leq d(k, l) < L + \Delta L \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (1.4)$$

то ця апроксимація виявляється матрично-векторним інтегральним рівнянням Вольтера:

$$\chi^{-1} \omega_k^{ex}(t) = \int_0^{\infty} N(L) \omega\left(\frac{t-L}{v}\right) dL + yt = v \int_{-\infty}^t N[v(t-u)] \omega(u) du + yt, \quad (1.5)$$

де матриця повної мережі визначається як:

$$N = \int_0^{\infty} N(L) dL \quad (1.6)$$

Інтеграл (1.6) представляє просторове сумування в мережі. Добре відомо, що рішення рівняння в мережі можна знайти за допомогою:

$$\omega(t) = \int_0^t M(t-u) y(u) du, \quad (1.7)$$

де матричнозначне ядро  $M(\cdot)$  представляється рядом Неймана.

Проте, якби мережа  $N$  являла собою більш-менш однорідне середовище, як це буває в класичному випадку в акустиці й оптиці, то ми мали б справу з хвилею, породженою точковим джерелом.

У випадку  $N$ -мережі ситуація інша. Якщо для яких-небудь ненульових елементів  $N(L)$  поширюється на великі значення  $L$  і якщо метрика  $d(k,l)$  дуже відрізняється від метрики фізичного простору мережі, то результатом будуть переходи з однієї області на іншу, і поведінка буде відрізнятися значно меншою регулярністю, ніж явища хвильового типу, що використані в класичній фізиці. Тому при моделюванні таких процесів потрібні нові підходи, які враховують неоднорідності простору мережі. У цьому разі ми приходимо до того, що природні нейронні мережі цілком неоднорідні і мають характерну тривимірну архітектуру. Разом з тим, відомо, що  $N$  мережі не враховують у даній мірі неоднорідність і тривимірність природних нейронних мереж.

Топологія природних нейронних мереж, яка задає спосіб з'єднання комірок мережі між собою, очевидно, визначена генетично, в крайньому разі на глобальному рівні і тому з'єднання, безсумнівно також не є абсолютно випадковими [4].

**Методологічні особливості структурно-функціональної організації паралельної ієрарх-ієрархічної мережі.** Зростаючий обсяг даних і обчислень, необхідних для обробки великих масивів інформації, потребує усе більшої продуктивності використовуваних для цього систем. Оскільки щільність «упаковування» елементів в інтегральних схемах визначається фізичними обмеженнями, швидкодія в результаті обмежується кінцевою швидкістю поширення електромагнітних коливань від одного елемента до іншого. Перебороти цей фізичний бар'єр можна тільки розпаралелюванням обчислювальних процесів у системі, що, у свою чергу, призводить до ускладнення її архітектури. Інтелектуальна обробка інформації потребує розгляду кожного елемента в деякому контексті його зв'язків, а це можливо тільки в обчислювальній системі, що має топографічну структуру з тривимірним розташуванням процесорних елементів

(ПЕ). Саме така структура системи добре узгодиться з природним нейроподібним сприйняттям сенсорної інформації [7].

Високопродуктивну систему обробки інформації можна одержати лише пристосуванням архітектури під відповідну структуру даних. Проте структура даних у процесі пірамідальної обробки змінюється від великого фіксованого масиву на нижньому рівні до невеличкої гнучкої структури на верхньому. Найбільший інтерес викликають однорідні нерозподілені обчислювальні структури, що відповідають класу SIMD-систем, у яких декілька рівнів ідентичних ПЕ працюють в SIMD-режимі. Кожний рівень містить велику кількість простих ПЕ.

Принцип побудови пірамідальної ієрархічної структури даних, можна визначити як послідовність масивів даних того самого інформаційного поля на різноманітних рівнях дозволу:  $P = (A_0, A_1, A_2, \dots, A_L)$ , де  $A_i$  – інформаційне поле,  $i$  – номер рівня дозволу,  $i = \overline{0, L}$ . Така піраміда інформаційних полів формує обчислювальну структуру, яка дозволяє реалізувати методи інтелектуального сенсорного сприйняття. Сутність пірамідального підходу полягає в одночасному використанні при аналізі послідовності масивів даних на різноманітних рівнях ієрархії. Це дозволяє реалізувати стратегію від «загального до часткового», що дає можливість реалізувати концепцію нейроподібної обробки. Кожний елемент піраміди інформаційного поля характеризується трьома координатами  $(i, j, k)$ , де  $i$  – рядок,  $j$  – стовпчик,  $k$  – рівень.

Принцип побудови паралельно-ієрархічної структури даних можна визначити як послідовність операцій над множинами масивів даних, що утворюють множини інформаційних полів різноманітних рівнів ієрархії, взаємодія між якими здійснюється пірамідальною ієрархічною структурою і реалізується на основі мережної архітектури.

Мережні перетворення є нелінійними перетвореннями, ядра яких можна уявити у вигляді мережної моделі. У результаті прямого мережного паралельно-ієрархічного перетворення матриці зображення  $\mu(i, j)$  розміру  $S \times n_s$  утвориться одномірна матриця  $\varphi(t, p)$ , елементи якої визначаються так:

$$\text{Якщо } \mu(i, j) = \sum_{i=1}^{n_s} a^i, \text{ а кількість рівнів } k = \sum_{p=0}^c (3p + 2), \text{ де } c = 0, 1, 2, \dots, \text{ тоді}$$

$$\Phi_{t=2}^k \left[ \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(i, j) \right] = \sum_{t=2}^k a'_{t1}, \text{ де } \sum_{t=2}^k a'_{t1} = \varphi(t, p).$$

У цьому разі для кожного вихідного елемента мережного перетворення справедливе виконання такого співвідношення:

$$\varphi(t, p) = \Phi(j, i, t, p) \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(j, i), \quad (1.8)$$

де  $\Phi(j, i, t, p)$  – ядро нелінійного прямого мережного перетворення, заданого над елементами вихідного зображення.

Співвідношення (1.8) у векторній формі має вигляд:

$$\varphi = \Phi \cdot f, \quad (1.9)$$

$$\text{де } f(j, i) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(j, i).$$

Вихідне зображення можна одержати за допомогою зворотнього мережного паралельно-ієрархічного перетворення, яке описується співвідношенням:

$$\hat{f}(j, i) = \Phi^{-}(j, i, t, p) \sum_{r=2}^k \sum_{p=0}^c \varphi(j, i), \quad (1.10)$$

де  $\Phi^{-}(j, i, t, p)$  – ядро нелінійного зворотнього мережного перетворення.

Обернене мережне перетворення у векторній формі має вигляд:

$$f = \Phi^{-} \varphi \quad (1.11)$$

У спрощеному вигляді процес сприйняття сенсорних сигналів органів чуття людини можна представити як взаємозв'язаний ітераційний процес паралельного ПЧ-порівняння множини сигналів і виділення з даної множини підмножин загальних і різноманітних ознак-сигналів (ОС). Причому кожна нова сукупність різницевого ОС шляхом еволюційної зміни породжує нову підмножину загальних ОС. Даний процес сприйняття сенсорної інформації в ПЧС відбувається безупинно в часі й одночасно (паралельно) у всіх системах органів чуття людини.

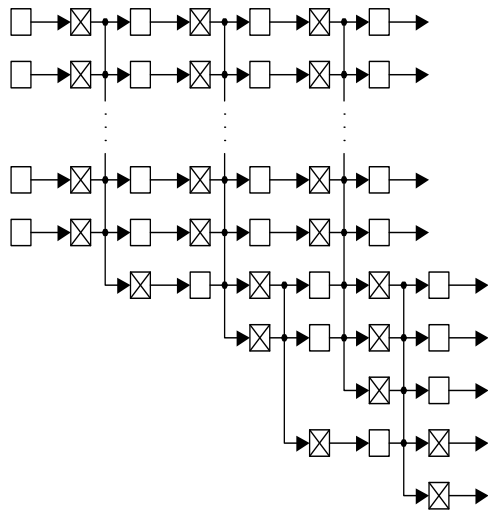
Кожна нова сукупність загальних і різноманітних ОС характеризує новий ієрархічний рівень переробки сенсорної інформації. У сенсорних системах характерна ієрархічна організація аналізу і синтезу інформації, яка переробляється.

Процес синтезу, тобто формування уявлень образів матеріального світу відбувається в оберненій послідовності, тобто із збереженої в короткочасній (оперативній) або довгостроковій (постійній) пам'яті мозку сукупності різноманітних «відображень» ОС формується на кожному ієрархічному рівні нова сукупність нових і різноманітних «відображень» ОС.

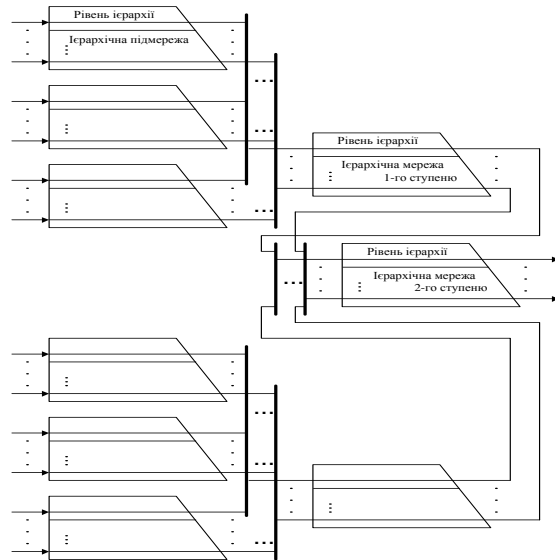
Таким чином, на структурному рівні процес нейроподібної обробки можна подати як паралельно-ієрархічний і взаємозв'язаний процес аналізу інформації в ряді сенсорних зон з ієрархічними рівнями усе більш високого порядку, найвищі з яких формують сукупності максимально загальних і різноманітних ОС [5].

Взаємозв'язані підгрупи являють собою сполучені за визначеним законом частини мережі, що можуть широко розгалужуватися по всій корі. Здійснення найскладнішої функції – спроможності прийти до якоїсь форми абстрактного висновку є результатом діяльності всієї розподіленої мережі.

Мережна структура (рис. 1) дозволяє імітувати принцип дії розподіленої нейронної мережі і за рахунок просторового поділу в часі, утворює детерміновану мережу (рис. 1). У нейробіологічній інтерпретації на рис. 1 перекреслений квадрат означає конвергентну структуру, а безпосередньо квадрат – дивергентну (⊗ – множина різних станів ПЧС, □ – загальні стани ПЧС). Така мережа складається із сукупності підмереж (рис. 2) формування ознак про стани ПЧС, структура яких однорідна і складається з ряду взаємозалежних ієрархічних рівнів [4].



**Рис. 1. Структура паралельно-ієрархічної мережі нейроподібного типу**



**Рис. 2. Структура ієрарх-ієрархічної мережі**

Алгоритм роботи мережі універсальний і полягає в паралельно-ієрархічному формуванні сукупностей загальних і різноманітних ОС про стани ПЧС. Узагальнення усіх виглядів сенсорної інформації відбувається на самому кінцевому етапі перетворення поза ієрархічної обробки кожного виду сенсорної інформації. Отже, процес узагальнення між різноманітними видами сенсорної інформації починається лише тоді, коли побудова за визначеною сукупністю ознак закінчується [4].

Сутність паралельно-ієрархічного підходу полягає в одночасному використанні послідовності множин масивів даних, які утворюють множини інформаційних полів на різноманітних рівнях ієрархії, рекурсивному формуванні нових послідовностей інформаційних потоків на різноманітних рівнях ієрархії, що дозволяє реалізувати стратегію багаторівневої взаємодії від «загального до часткового». Кожний елемент паралельно-ієрархічної піраміди характеризується чотирма координатами  $(i, j, k_1, k_2)$ , де  $k_1$  – рівень піраміди першого рівня,  $k_2$  – рівень паралельно ієрархічної піраміди інших рівнів. Пірамідальна обчислювальна структура на основі ПІ-перетворення утворює мережу у вигляді паралельно-ієрархічної піраміди. Тут для кожної піраміди використовується свій ПЕ, а число ПЕ визначається сумарним числом гілок ПІ-мережі [4].

**Висновки.** Паралельні ієрарх-ієрархічні перетворення в поєднанні з можливостями інформаційної оптоелектроніки відкриває широкі перспективи поліпшення функціонування обчислювальних систем новаторської архітектури, відомих під назвою систем паралельної обробки. Зважаючи на наведені методологічні особливості реалізації паралельності в програмних додатках можна стверджувати, що організація паралельно-ієрархічних мереж входить до класу задач, які ефективно реалізуються на основі паралельної обробки інформації, а

організація ієрарх-ієрархічних мереж – відповідно на основі розподіленої обробки інформації із застосуванням кластерних систем.

Аналізуючи мережне перетворення (рис. 2), можна зробити висновок про те, що в процесі утворення кожного рівня формується часовий зсув ( $\tau$ ), наявність якого призводить до одержання хвостових функцій.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера: моног. / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
2. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту: моног. / [В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свечніков, та ін.] – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.
3. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель для розпізнавання зображень / Л. І. Тимченко, В. В. Мельніков, Н. І. Кокряцька [та ін.] // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 353-363.
4. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту. Монографія// Л. І. Тимченко, В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свечніков, А. А. Яровий. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003 – 324 с.
5. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера: Монографія // Л. І. Тимченко. Співавтори: В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
6. Тимченко Л. І. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель ефективних засобів штучного інтелекту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.23 «Системи та засоби штучного інтелекту» / Л. І. Тимченко; Держ. науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури. – Львів, 2002. – 36 с.
7. Яровий А. А. Методологічні особливості побудови паралельно-ієрархічних та ієрарх-ієрархічних мереж на основі кластерних систем з розподіленою обробкою інформації / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 1 (19). – С. 69–79.
8. Яровий А. А. Нейроподібна мережна модель паралельно-ієрархічної обробки цифрової інформації для задач ідентифікації плямових зображень лазерних пучків / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5 (74). – С. 95–102.