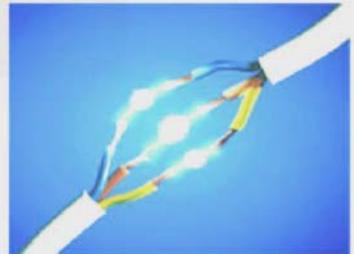
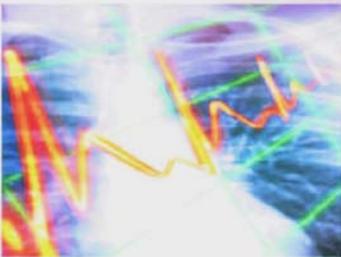
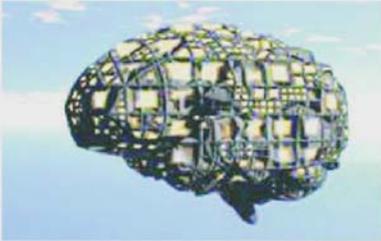


**В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Г. Л. ЛИСЕНКО
А. А. ЯРОВИЙ, А. В. КОЖЕМ'ЯКО**

**ОБРАЗНИЙ ВІДЕО-КОМП'ЮТЕР
ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ**

МОНОГРАФІЯ



Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/417>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет**

**В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Г. Л. ЛИСЕНКО,
А. А. ЯРОВИЙ, А. В. КОЖЕМ'ЯКО**

**ОБРАЗНИЙ ВІДЕО-КОМП'ЮТЕР
ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ**

МОНОГРАФІЯ

**УНІВЕРСУМ – Вінниця
2008**

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/417>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 681.324:621.383.8:007

О 23

Рецензенти:

О. І. Стасюк, доктор технічних наук, професор

В. А. Лужецький, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою Радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №6 від 29.11.2007 р.)

Автори: **Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л., Яровий А. А., Кожем'яко А. В.**

О 23 Образний відео-комп'ютер око-процесорного типу.

Монографія. — Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. — 215 с.

ISBN 978-966-641-261-7

В монографії розроблено принципи організації оптико-електронних (ОЕ) паралельно-ієрархічних (ПІ) логіко-часових структур для розробки образного відео-комп'ютера око-процесорного типу в контексті сучасної методології штучного інтелекту. Сукупність наведених у монографії результатів має теоретичне та прикладне значення, що полягає у розвитку ОЕ перетворювачів інформації, ПІ мереж, архітектури ОЕ, асоціативних, систолічних процесорів для паралельної реєстрації, розпізнавання багатовимірних перетворень та паралельної обробки інформації при розпізнаванні образів. На основі застосування розроблених структур образного відео-комп'ютера око-процесорного типу розроблено методи, моделі, алгоритми, програмне та апаратне забезпечення для ефективної обробки зображень та розпізнавання образів.

УДК 681.324:621.383.8:007

ISBN 978-966-641-261-7

© В. Кожем'яко, Г. Лисенко, А. Яровий, А. Кожем'яко, 2008

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ПЕРЕДМОВА	6
ВСТУП	8

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Методологічні аспекти принципів паралельності та ієрархічності в нейронній обробці інформації.....	10
1.2 Концепція образного відео-комп'ютера око-процесорного типу в контексті сучасної методології штучного інтелекту.....	28

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ, АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНИХ СХЕМ ОБРАЗНОГО ВІДЕО-КОМП'ЮТЕРА ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ

2.1 Методика попередньої обробки зображень для процесів паралельно-ієрархічного розпізнавання.....	43
2.1.1 Методологічні принципи “трубої-точної” обробки зображень.....	47
2.1.2 Принципи формального опису частин зображення.....	49
2.1.3 Розробка 3D багаторівневої паралельно-ієрархічної мережі для розпізнавання зображень.....	51
2.1.4 Математичний опис багатоступінчастого процесу обробки зображень.....	57
2.1.5 Паралельний аналіз зображення з використанням багаторівневої мережної структури та результати оцінки ефективності розпізнавання зображень.....	60
2.2 Математична обробка зорової інформації в логіко-часовому середовищі.....	66
2.3 Сучасні методи побудови оптико-електронних обчислювальних пристроїв для лінійно-алгебраїчних процесорів	78
2.4 Реалізація концепції різницевих зрізів при обробленні зображень та розпізнаванні образів.....	90

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ОБРАЗНОГО ВІДЕО-КОМП'ЮТЕРА ОКО- ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ

3.1 Розробка функціональних схем оптоелектронної сортувальної пам'яті.....	106
3.2 Розробка оптоелектронного корелятора двовимірних зображень.....	108
3.3 Розробка логіко-часового оптоелектронного процесора обробки зображень.....	120
3.3.1 Архітектура логіко-часового оптоелектронного процесора обробки зображень.....	120
3.3.2 Аналіз і вибір нано-елементів та оцінка технологічності розробки нано-око-процесора.....	130
3.3.3 Прикладна реалізація око-процесора.....	150
3.3.4 Реалізації систолічних процесорів для багатооперандної обробки даних.....	163

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНО-ПРИКЛАДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ СТРУКТУР ОБРАЗНОГО ВІДЕО- КОМП'ЮТЕРА ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ

4.1 Практично-прикладна реалізація для задачі виділення дефектів багатошарових фотографічних матеріалів.....	174
4.2 Перспективи реалізації в оптико-електронних геоінформаційно-енергетичних системах.....	179

ВИСНОВКИ 194

ЛІТЕРАТУРА 196

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D OIC	3-Dimensional Optical Integrated Circuit
DNA	Dynamic Hierarchical Architecture
АЗП	асоціативний запам'ятовувальний пристрій
АП	асоціативний процесор
АЦКП	аналого-цифрові картинні перетворювачі
БПТГ	біопроекторний таймер-годинник
БФМ	багатошарові фотографічні матеріали
ВЛЗ	векторно-часові логічні змінні
ВОЛЗ	волоконно-оптичні лінії зв'язку
ГЕС	геоінформаційно-енергетична система
ДЗ	дискретизоване зображення
ЗДВ	зовнішній добуток векторів
ІТ	інтелектуальні інформаційні технології
КЕ	комутаційний елемент
КЛЕ	комутаційно-логічний елемент
КП	контурні препарати
ЛАП	лінійно-алгебраїчні процесори
ЛЕ	логічний елемент
ЛЧК	логіко-часові коди
ЛЧМ	лінійний частотно-модульований
ЛЧФ	логіко-часова функція
ЛЧС	логіко-часове середовище
МКФ	модульно-кореляційна функція
ММО	мережа масового обслуговування
НМ	нейронна мережа
ОБАП	оптоелектронний багатофункціональний арифметичний процесор
ОК	образний комп'ютер
ОО	оптичний об'єднувач
ООС	образна операційна система
ПЕ	процесорний елемент
ПЗЗ	пристрій із зарядовим зв'язком
ПІ	паралельно-ієрархічний
ПКВМ	програмовані користувачем вентиляльні матриці
ПЛІС	програмовані логічні інтегральні схеми
ПЛМ	програмовані логічні матриці
ПМЛ	програмована матрична логіка
ПМП	порогова матриця пам'яті
ПРЗ	принцип різницевого зрізу
РЗ	розрядно-зрізовий
РзЗ	різницевий зріз
РКТВ	рідиннокристалічний телевізійний
СКВ	середньоквадратичне відхилення
СМО	система масового обслуговування
СПО	світлоподільувач / світлооб'єднувач
УКП	узагальнені контурні препарати
УПЗП	узагальнене просторово-зв'язане препарування
ЦДЗ	цифрова двовимірна згортка
ШНМ	штучна нейронна мережа

ПЕРЕДМОВА

Інтелектуальні інформаційні технології – це високі інформаційні технології, які моделюють та відтворюють елементи інтелекту людини. ІТ – об’єктивна реальність, проте в їх створенні є проблеми та труднощі. Одна із основних – обмежені можливості сучасних обчислювальних машин. Вони погано оперують з образами. Останнім часом, все більше висувається нових ідей та проектів в цій сфері. Одним із проявів якісно нового підходу в системі методології сучасних інтелектуальних структур є наукові дослідження, які здійснюються в напрямку створення образного комп’ютера (ОК). Розробка таких комп’ютерів, які виконують не тільки обчислення, але й моделюють образне сприйняття світу, образне прийняття рішень і орієнтовані на виконання функціонального моделювання інтелектуальної діяльності людини відносять до проривних напрямків у науково-технічному поступі.

Актуальність та тематика цих досліджень відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні. З метою створення принципово нових інформаційних технологій і систем Кабінет Міністрів України своєю постановою від 08.11.2000 р. №1652 схвалив Державну науково-технічну програму “Образний комп’ютер”. Замовником ДНТП “Образний комп’ютер” є Міністерство промислової політики України, при підтримці Міжнародного центру ЮНЕСКО, як Органу управління Програмою, та Національної академії наук України.

Правильний вибір конкретних засобів реалізації оптико-електронних архітектур образного комп’ютера має особливо важливе значення для досягнення потрібних техніко-економічних показників. Як правило, перед розробниками оптико-електронних архітектур образного комп’ютера постають проблеми, пов’язані з неоднозначністю вибору можливих варіантів побудови багатьох функціональних блоків, які можуть бути реалізовані апаратними, програмними або апаратно-програмними засобами.

Науково-дослідні роботи, пов’язані з дослідженням проблем образного комп’ютера на сучасному етапі значно диференційовані та здійснюються в напрямку моделювання найрізноманітніших інформаційних систем та структур штучного інтелекту. Однак, тут потрібно мати на увазі таке. Коли мова іде про можливості створення штучного інтелекту, то в широкому розумінні та істинному значенні здійснюється намагання створити такі інтелектуальні структури, які б поєднували в собі виконання не лише формалізованих, але і неформалізованих операцій, надавали б можливість інформаційній

системі моделювати образне сприйняття світу, оперувати моделями зовнішнього світу з усіма його об'єктами, явищами та їх проявами. Адже цілком зрозуміло, що якою б досконалою не була та чи інша інтелектуальна структура, вона ніколи не зможе досягнути своєї самодостатності, рівня саморегулювання та самоуправління, якщо не забезпечить себе відповідними методами сприйняття та відбору інформації та здатністю швидкого засвоєння неформалізованих даних.

В цьому контексті, оптико-електронні паралельно-ієрархічні логіко-часові структури для розробки образного відео-комп'ютера око-процесорного типу в контексті сучасної методології штучного інтелекту – перспективна галузь наукової і прикладної діяльності, що динамічно змінюється, – є предметом представлених в цій монографії досліджень.

Окремі результати досліджень, що викладені в монографії, отримані в межах наукової роботи, яка виконувалася за рахунок бюджетних коштів МОН України, наданих як гранти Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених, зокрема:

- науковий проект «Інтелектуальна система для ідентифікації плямових зображень лазерних пучків» (керівник проекту – Яровий А.А.);
- науковий проект «Образний оптико-електронний комп'ютер око-процесорного типу на систолічних структурах» (керівник проекту – Кожем'яко А.В.).

Вступ, висновки, а також підрозділи 2.2; 2.3; 2.4; 3.1; 3.3; 4.1; 4.2 підготував В.П. Кожем'яко; підрозділи та пункти 2.4; 3.2; 3.3.2; 3.3.3 – Г.Л. Лисенко, підрозділи та пункти 1.1; 1.2; 2.1, 3.3.1 – А.А. Яровий, підрозділи та пункти 1.2; 3.1; 3.3.4, 4.2 – А.В. Кожем'яко.

ВСТУП

Основний предмет представлених у роботі досліджень – розробка інформаційно-вимірювальних оптико-електронних систем “око-процесорного” типу, які необхідні для створення швидкодіючих відеокomp'ютерів для обробки інформації в реальному часі, – є актуальним для ряду навігаційних, робототехнічних, біокібернетичних, нейроподібних систем, а також систем штучного інтелекту та технічного зору.

Існуючі методи попередньої обробки не забезпечують проведення паралельного перетворення, що істотно обмежує область їх застосування і, зокрема, унеможливує використання відомих методів перетворення, які не враховують паралелізм і ієрархію структури відео-даних при обробці зображень. В той же час вирішення проблем обробки і перетворення відео-даних шляхом застосування класичних прийомів програмного керування виявляється дуже складним, особливо при введенні, перетворенні і обробці зображень, образів.

У той же час для створення нейроподібних комп'ютерів око-процесорного типу необхідна організація такої гнучкої алгоритмічної структури, “кістяк” якої заздалегідь жорстко визначений.

Вимоги до подібної структури, яка може знайти застосування в різних областях науки і техніки, як універсальний інструмент дослідження інформаційних полів, запропонована на рівні “know-how” і включає традиційні (стосовно програмної частини) і нетрадиційні (які містять, з одного боку, вимоги до гнучкої перебудови базової алгоритмічної структури на виконання “інтелектуальних” операцій попередньої обробки, аналізу і синтезу зображення, а з іншого боку – схемотехнічні вимоги до процесорної частини для забезпечення технічних параметрів на рівні світових стандартів) складові.

У вищевказаному переліку необхідно особливо звернути увагу на перші дві позиції, які передбачають таку архітектуру образного комп'ютера, яка б набувала вигляду цілісного комплексу інтегрованих апаратних засобів. Тобто така модель образного комп'ютера передбачає створення певного штучного середовища для реалізації інтелектуальної поведінки, що по своїй структурі передбачає наявність відповідної мережної технології. Великі можливості при

вирішенні проблеми моделювання образного комп'ютера розкриває наукова концепція оптико-електронних логіко-часових інформаційно-обчислювальних середовищ.

Око-процесор – це така інформаційна інтелектуальна система, яка моделює образне відображення світу на основі сприйняття візуальної інформації довільної природи, виділяє певні властивості та ознаки середовища, обробляє їх та приймає відповідні рішення автоматично або з участю оператора.

У цьому аспекті перспективними є роботи, які проводяться на кафедрі лазерної та оптоелектронної техніки ВНТУ зі створення оптико-електронних інформаційно-вимірювальних систем “око-процесорного” типу. Розробка нових пристроїв обробки і розпізнавання зображень відбувається в напрямку створення нейроподібних методів і алгоритмів паралельно-ієрархічного перетворення, мережних методів попередньої обробки зображень, розробки і створення апаратних спеціалізованих відеокомп'ютерів на основі сучасної елементної бази. Також, розробка методів паралельно-ієрархічного перетворення, представлення зображення у вигляді його спектра просторової зв'язності, розробка алгоритмів мережного порівняння зображень, інваріантних до повороту, методів попередньої обробки зображень шляхом контурного препарування і методів обчислення кореляційної функції, які використовують тільки прості обчислювальні операції порівняння і зсуву, дозволяє різко збільшити швидкодію пристроїв і перейти до створення апаратних спеціалізованих відеопроекторів з паралельно-ієрархічною архітектурою.

На сьогодні досить гостро стоїть проблема забезпечення швидкої обробки великорозмірних інформаційних масивів, при цьому також необхідно задовольнити визначений рівень продуктивності та точності. Такі задачі важко вирішити за допомогою традиційних способів. Створення таких засобів стало можливим вперше завдяки використанню переваг технології надвеликих інтегральних схем VLSI (Very Large Scale Integration) та паралельної обробки інформації, зокрема концепції систолічних обчислень. Тому подальше підвищення продуктивності обчислювальних засобів пов'язують з організацією обчислень за допомогою паралельних методів та структур, що використовують техніку цифрових оптичних обчислень.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Методологічні аспекти принципів паралельності та ієрархічності в нейронній обробці інформації

Інформаційні технології в комп'ютерній індустрії останнім часом настільки динамічно почали вдосконалюватись, що питання монополії окремих країн в цій перспективній галузі все більше стає менш актуальним, а наукові дослідження все більше набувають комплексного та глобального характеру. Це пов'язано з тим, що перспективний розвиток комп'ютерної галузі визначає не одну комплексну програму, а досить зв'язаний конгломерат досліджень у таких областях, як розробка комп'ютерних систем з високою ступінню паралелізму, розробка комп'ютерних систем з нейронними мережами та розробка комп'ютерних систем, в яких замість електронних сигналів для передачі інформації використовують світло. Комп'ютерна система з паралельною обробкою має можливість розділяти певну задачу на частини, а в подальшому обробляти всі частини одночасно, що дає результат набагато швидше, ніж при послідовній обробці кожної частини. Комп'ютерна система на основі нейронних мереж має в основі принципи функціонування, досліджені в нейрофізіології та нейробіології, а в ідеальному варіанті із нейронною моделлю мозку в основі. Використання ж природних носіїв інформації – світла та часу – може значно облегшити створення комп'ютерів з високою ступінню паралелізму та нейронних мереж [1]. Перспективність такого підходу підтверджується міжнародними потужними науковими проектами, наприклад японський проект “Real-World Computing Program”. Замість концентрації сил на точних обчисленнях, що закладено в існуючі комп'ютерні системи, в цих розробках вивчаються шляхи створення комп'ютерів, де задачі розв'язуються на основі знань, навіть, інтуїтивно. Такий шлях розвитку комп'ютерної техніки пропонується авторами як конструктивно-альтернативний із врахуванням запропонованих нижче патентночистих пропозицій для подальшого розвитку вітчизняного наукового потенціалу.

Використання ідей паралелізму для організації обчислювального процесу нейронних мереж, для розпізнавання образів та засобів оптоелектроніки, в більшості дослідних робіт розглядаються як зовсім ізольовані задачі. Хоча в своїй постановці всі ці задачі взаємозв'язані та мають досить чітку нейробиологічну інтерпретацію [2].

Загальна схема взаємного впливу досягнень функціональної оптоелектроніки та нейронних мереж показана на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема взаємодії функціональної оптоелектроніки та нейронних мереж

Вперше ієрархічну організацію структури мозку ввів в 1962 р. академік НАН України М.М. Амосов та сформулював порівневий принцип переробки інформації. Цей принцип передбачає поверхову переробку інформації ієрархічними структурами мозку. При цьому кожен рівень переробки інформації має свою програму, взаємодіє по висхідних та низхідних шляхах з сусідніми ієрархічними рівнями і за рахунок бічних зв'язків – з нейронними структурами свого рівня. В цьому випадку в кожен момент часу, ті чи інші програми, або їх частини, будуть переважати над рештою та визначати процеси переробки інформації, впливаючи на формування прийняття рішення.

Принцип переробки інформації М.М. Амосова та останні досягнення інших учених в цій галузі, стали передумовою запропонованої математичної моделі динамічно-ієрархічної архітектури (ДНА) нейронних мереж, для з'ясування нейробиологічних особливостей їх організації, що направлені на

стимулювання проведення робіт в прикладних галузях, наприклад таких як штучні нейронні мережі та функціональна оптоелектроніка [2].

Таким чином, на погляд авторів, передові досягнення нейробиології повинні стимулювати розробки в галузях функціональної оптоелектроніки та нейронних мереж, що вказує шлях до створення оригінальних конкурентоспроможних інтелектуальних технологій.

Розглянемо основні положення нейробиологічної інтерпретації мереж, які містять в собі високу ступінь паралелізму обробки інформації, 3D DNA нейронні мережі та можливість використання відомих переваг функціональної оптоелектроніки на основі просторово-часової взаємодії конвергентних та дивергентних структур [1].

У роботі про нейронні механізми зору Д. Х'юбел відмічає, що при зоровому сприйнятті можна розрізнити два процеси, які йдуть поруч [3]. Перший з них носить ієрархічний характер, а другий складається з дивергенції шляхів. Наскільки поширені процеси дивергенції та конвергенції сигналів можливо оцінювати по тому, як аксон майже кожної клітини цього рівня розгалужується при підході до наступного рівня і закінчується на декількох, або багатьох клітинах, і навпаки, клітина будь-якого рівня, крім першого, має синоптичні входи від декількох, або багатьох клітин попереднього рівня.

Яким чином можна поєднати два цих процеси в одному інформаційному середовищі та чи можливо це використовувати в структурі нейронних мереж? Аналіз робіт з цієї тематики показує, що „природа” для організації нейронних мереж „потурбувалась” про створення ієрархічного механізму часового розділення сигналів по різноманітних рівнях [4].

Причому, інтеграція ієрархічного процесу на кожному рівні складається з конвергенції мереж, а їх розділення у часі – з дивергенції мереж.

Порівняльний аналіз процесів конвергенції-дивергенції мереж показує, що вдалою моделлю, яка описує ці процеси і дозволяє

сумістити ієрархічну обробку і розділення інформаційних сигналів є мережне перетворення [5].

Розглянемо математичний вигляд мережного перетворення. Нехай паттерн (коаліція нейронів) заданий у вигляді $M = \{a_{ij}\}$, де a_{ij} – його параметри за певним правилом (критерій загальної частини) [5].

Сформуємо компоненти паттерна (a^k) $k = \overline{1, R}$. Тоді зміни в часовому стані паттерна згідно з дослідженням Д. Алкона [6] у грубому наближенні можна відобразити в такому вигляді:

$$M^1 = \left\{ \left(n - \sum_{k=0}^{t-1} n_k \right) \cdot (a^t - a^{t-1}) \right\}, \quad G(M) = M^1, \quad (1.1)$$

де n_k – число елементів в k -ому паттерні; a^t – довільний елемент.

Подальша еволюція паттерна при виконанні оператора G пов'язана з формуванням нових компонентів паттерна і вміщує операції транспонування (T), зсуву (S) і виключення (L) першого стовпця матриці M . Позначаючи послідовне використання операторів G, S, L, T через F , на структурному рівні можна уявити еволюцію паттерна, як багаторівневий процес формування його принципівих компонентів a'_{11} тобто:

$$\begin{aligned} F(M) &= T[L[S(G(M))]]; \\ F[F(M)] &= F^2(M); \dots; F[F^{j-1}(M)] = F^j(M); \\ F^{k-1} \left[T \left(G \left(\bigcup_s M_s \right) \right) \right] &= \{a_{11}^j\}, \quad j = \overline{2, k}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

де M_s – вхідні паттерни, k – число рівнів їх представлення.

Модель виду (1.2) являє собою багатоетапний процес взаємодії в часі паттернів M_s , в подальшому визначається як паралельно-ієрархічне (III) перетворення.

У відомій праці лауреатів Нобелівської премії Ф.Крика і К.Коха ставиться інтригуюче запитання про існування таких нейронів, які безпосередньо символізують зміст зорової свідомості [7]. Відповіддю на поставлене запитання могло б бути таке припущення: такі нейрони існують, якщо вони не входять в оптимальні коаліції і утворюють хвостові рецептивні поля. Аналізуючи вираз (1.2) можна зробити

висновок, що цю умову задовольняють вихідні (хвостові) елементи запропонованої мережі, які не утворюють оптимальних коаліцій, а всі інші утворюють, тобто зайняті обчисленнями. Переходячи до конвергентно-дивергентних структур виникає питання: які процеси на цьому рівні можуть символізувати структурні елементи зорової свідомості. Розглядаючи зорову систему як сукупність ієрархічно впорядкованих структур коркових зон, які містять велику кількість окремих шарів, можна зробити таке узагальнення. В шарах повинні формуватися оптимальні коаліції лише в тому випадку, якщо в певний час дивергентні процеси будуть досить сильно переважати конвергентні. В цьому випадку, клітини будуть зайняті безпосередньо обчисленнями. Якщо не відбувається утворення оптимальної коаліції нейронів, то тоді вже конвергентні процеси будуть суттєво переважати над дивергентними. В цьому випадку система буде спрямована до стану з меншою енергією, і далі процес формування конвергентно-дивергентних структур на цьому функціональному рівні не відбувається.

У термінах Ф. Кріка і К. Коха це означає, що утворення оптимальних коаліцій також не відбувається. Тоді результат зорової свідомості формується з таких конвергентно-дивергентних структур, в яких конвергентних процесів більше, ніж дивергентних.

Враховуючи це на основі системного аналізу робіт з нейрокібернетики [8–10] та нейробіології [11,12–14] пропонується структурний механізм організації ієрархічно зв'язаних конвергентно-дивергентних структур, які за рахунок просторового розподілу в часі, утворюють детерміновану мережу (рис. 1.2).

В структурі цієї мережі визначені ті властивості, які мають нейронні коаліції і відповідають за самі обчислення, а також за їх результати. Безпосередньо самі обчислення подані як множинні ієрархічні процеси конвергентно-дивергентної взаємодії рецептивних полів нейронних коаліцій (рис. 1.3). Результати обчислень, подаються у шарах коркових зон центрами рецептивних полів тих нейронних коаліцій, в конвергентно-дивергентних структурах яких конвергентних процесів більше, ніж дивергентних.

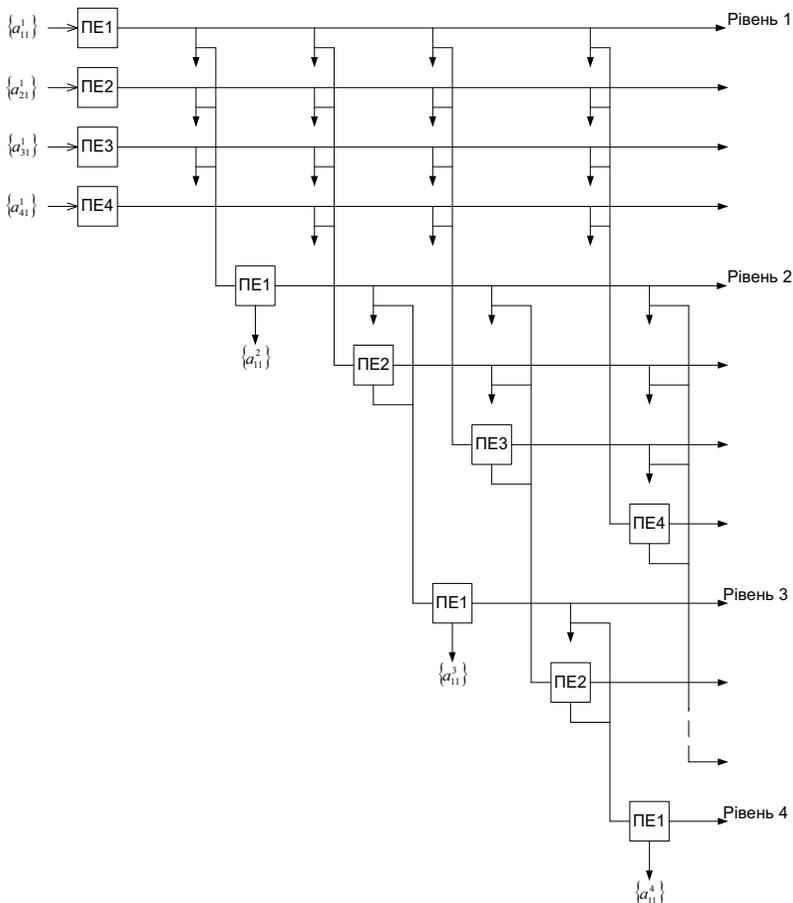


Рисунок 1.2 – Структурна схема процесорної організації ПІ-мереж

Такий висновок також підтверджується локальним (мозаїчним) характером обчислень, що приводить до ідеї неоднорідності енергетичного розподілу в різних мозаїчних структурах. Механізм неоднорідного розподілу енергії в мозаїчних структурах відображає енергетично неоднорідний процес формування конвергентно-дивергентних структур. При такому розумінні мозаїчна структура являється динамічною системою, яка прямує до стану локальної енергетичної рівноваги. При цьому в конвергентно-дивергентних структурах конвергентні процеси стають переважаючими над

дивергентними, що відображається у мережі формуванням хвостових рецептивних полів. Це відповідає принципу фізичного гештальта Кьолера [13], згідно з яким енергетичні поля, що взаємодіють в мозку, намагаються перейти у стан з мінімумом енергії.

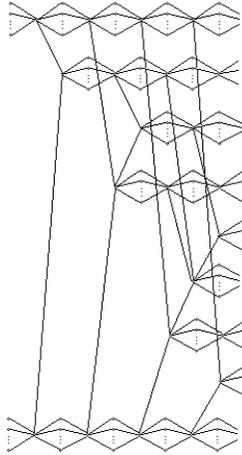


Рисунок 1.3 – Схема організації конвергентно-дивергентних структур

Така концепція нейронних мереж підтверджує основну ідею засновника нейробіології Рамон-і-Кахала про високу впорядкованість нервової системи [15]. Запропоноване трактування мережі дозволяє на системному рівні зовсім по іншому підійти до проблеми організації структури відомих штучних нейронних мереж [9, 10], які побудовані виключно на основі випадкових зв'язків, що суперечить нейробіологічним даним [3, 4, 11], і тому об'єктивно не може дати задовільних результатів при розпізнаванні образів.

Слід також відмітити ті виявлені структурні особливості реальних нейронних мереж, які доцільно використовувати у структурі штучних нейронних мереж і які спроможні формувати “динамічний структурний комплекс” згідно з теорією російського фізіолога І.П. Павлова [16].

Сучасні гістологічні та електрофізіологічні дослідження [17, 18] показують, що в сенсорних і особливо асоціативних зонах кори головного мозку поряд з вертикальними нервовими шляхами (кора-підкірка-кора) існують також багаточисельні горизонтальні нервові

шляхи, які з'єднують розташовані поруч нервові клітини. Враховуючи цю особливість, і мінливість у часі вертикальних і горизонтальних шляхів та розвиваючи ідею багат шарового перцептрона [10], в квантронних моделях логіко-часових середовищ [19] пропонується ієрархічна структура 3D мережі [21] око-процесорного типу [20]. При такому змішаному використанні нейронних шляхів [2]: горизонтальний шлях – вертикальний шлях – горизонтальний шлях і т.і. між гілками, в структурі яких перспективно використовувати, наприклад, багат шаровий перцептрон, в кожному рівні мережі формується тимчасовий зсув, описаний в структурах одномірної N мережі У.Гренандера. Використання таких змішаних нейронних шляхів було апробовано [22, 23] при обробці різноманітних зображень. Слід відмітити, що роботи в області оптико-електронних паралельно-ієрархічних перетворювачів зображень око-процесорного типу були вперше започатковані в Україні в середині 80-х років в СКТБ “Квантрон” при Вінницькому політехнічному інституті і привели до створення перспективного патентно-чистого наукового напрямку [24] в інформаційно-обчислювальній техніці.

Приклад процесорної організації мережі

Нехай є інформаційний потік, який задано у вигляді множини:

$$\overline{M_i(n)}, i = 1, n,$$

де n – розмірність i -ої множини.

Загалом базисну мережу можливо описати за допомогою шести різновидів функціональних рядів. Приклад такого ряду представлено далі. Наступні можуть бути сформовані заміною, відповідним чином, меж об'єднання в виразі (1.3).

$$C_1(i, j) = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^n (M_i(n - (i - 1) / j)); \quad (1.3)$$

$$C_2(i, j) = S_1(i, j) \cup S_2(i, j) \cup S_3(i, j) \cup S_4(i, j) \cup S_5(i, j); \quad (1.4)$$

$$C(i, j) = S_1(i, j) \cup S_2(i, j).$$

У виразі (1.3) знак] [означає виділення цілої частини та округлення до більшого значення. Ряд (1.3) в загальному вигляді описує структуру Ш-мережі.

Функціональний ряд $C_1(i, j)$ утворює основну базисну мережу, а

ряди $C_2(i,j)$ – хвостову базисну мережу. Сукупність рядів $C_1(i,j)$ та $C_2(i,j)$ – утворюють повну базисну мережу. Таким чином, базисна ПП-мережа утворюється з основної та хвостової мережі, які є невід’ємними складовими для описання взаємодії паралельних потоків даних [25, 26].

Основну ідею ПП-перетворення, як витікає з опису ряду (1.4) повної базисної мережі, опишемо так. На першому рівні паралельним способом в незалежних гілках (каналах) виконується початкове (задане для конкретної задачі) перетворення, тим самим формуються інформаційні потоки даних для перетворення на наступних рівнях. На кожному наступному рівні виконується формування хвостового елемента мережі – останнього елемента функціонального ряду (1.3) для кожного значення та нового інформаційного потоку, який є початковим для перетворення на наступному рівні мережі.

Аналізуючи ряди, можливо зробити висновки про те, що в мережі, яка ними утворюється, реалізується механізм просторово-часового збігу елементів мережі. Причому, числові послідовності яких, це ніщо інше, як відображення міри динамічної кореляції на різних рівнях ієрархії ПП-мережі.

Моделювання такої мережі на різних об’єктах, підтверджує перспективність використання підходу для задач ідентифікації зображень, які реалізовані в роботах [21–23].

Приклади інтерпретації мережі на основі теорії оптоелектронних логіко-часових середовищ

Приклад 1. Реалізація принципу динамічної багатофункціональності [27].

На якісному рівні принцип динамічної багатофункціональності структур можливо пояснити таким чином. Якщо вхідними даними є фізичні параметри, наприклад, зовнішні керуючі сигнали, а в якості критерію вибору загальної частини інформації – формування структурою будь-якої функції, то стає можливим використання ідеї ПП-перетворення на апаратному рівні. В такому випадку, синтезована структура має динамічну багатофункціональність, якщо при дії вхідних сигналів структура, схема якої лишаючись незмінною, реалізує найкращим чином свої можливості. Тоді ПП-перетворення на

апаратному рівні можливо подати як часову та ієрархічну послідовність функцій, які виконують елементи. Ієрархія цих функцій буде дотримуватися лише при переході функціонального стану елемента з одного ієрархічного рівня на інший. Причиною такого переходу є процеси взаємодії різної фізичної природи [28].

Наведемо один з найбільш цікавих результатів – явище термооптоєфекту [29], яке вдалось отримати завдяки використанню в роботі схеми квантрона [1, 30] процесу регулювання розсіювальної потужності транзистора (рис. 1.4).

В цій схемі, завдяки обраній робочій точці, транзистор $VT1$ починає розігріватися, що приведе до збільшення коефіцієнта підсилення β , та струму колектора I_k . Коли I_k досягає величини, при якій загорається світлодіод $VD1$, замикається додатний зворотний зв'язок, і транзистор переходить в насичення. В результаті стрибкоподібно зменшується опір колекторно-емітерного переходу транзистора $VT1$ та стрибкоподібно змінюється перерозподіл споживаної потужності між останнім та резисторами $R2$ та $R3$. В результаті зниження споживаної потужності транзистор $VT1$ починає охолоджуватися, що веде до зменшення β , I_B , I_k .

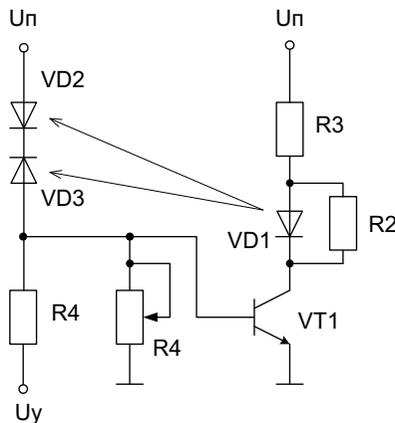


Рисунок 1.4 – Схема квантрона на основі оптотермоєфекту

Коли I_k досягає величини, при якій потік світла світлодіода $VD1$

починає зменшуватись, відбувається процес зриву зворотного зв'язку і пристрій переходить в початковий стан. Потім процес повторюється і т. д. Змінюючи опір резистора $R1$ можна змінювати робочу точку транзистора, отож, його час розігріву та охолодження, що відповідає зміні частоти генерації. Ці процеси розігріву та охолодження корелюють в часі із зміною I_k . Оскільки нагрівання та охолодження – процеси інерційні, частота генерації буде відповідати інфранизькому частотному діапазону.

З розглянутого прикладу видно, що використання таких, начебто “шкідливих” потенційних можливостей транзистора, як його нагрівання та охолодження, приводе до появи нової корисної якості генерації в інфранизькому частотному діапазоні. Причому, при такому підході пристрій не потребує таких компонентів електронних схем, як конденсатор та імпульсний трансформатор, отже має високу технологічність та може бути виконаний в інтегральному вигляді.

Подібні структури (з динамічною багатофункціональністю), маючи гнучкі схемотехнічні можливості керування внутрішніми процесами, не можуть забезпечити належних стійких експлуатаційних параметрів. Але це справедливо лише тоді, коли ці структури розглядаються ізольовано одна від одної, тобто за межами системи. Замість концентрації сил на точних обчисленнях з високостабільною елементною базою подібні системи спрямовані на розв'язок задач неточними методами. До таких задач відносяться такі, як розпізнавання об'єктів та навколишньої обстановки, а також прийняття рішень в умовах, коли відомі не всі факти.

Така впевненість будується на ряді об'єктивних факторів. Найдосконаліша система з динамічною багатофункціональністю – людський мозок. Однак складові цієї системи – нейрони є одним з прикладів нестабільних елементів. Так, наприклад, час проведення збудження через один синапс змінюється в межах 1,5...2 мс. А тривалість потенціалу дії в нервових волокнах змінюється в межах 0,4...5 мс. Охолодження волокна на 10° збільшує потенціал дії в 3 рази! В той же час, вся нервова система є дуже збалансованою і може розв'язувати ті задачі, які високостабільні системи, наприклад, сучасні комп'ютери в принципі не можуть розв'язати.

Наукове видання

**Кожем'яко Володимир Прокопович
Лисенко Геннадій Леонідович
Яровий Андрій Анатолійович
Кожем'яко Андрій Вікторович**

**ОБРАЗНИЙ ВІДЕО-КОМП'ЮТЕР
ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлений А. Яровим

Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця»
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел.: (0432) 59-85-32

Підписано до друку 12.09.2008р.
Формат 29,7×42¹/₄ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 12,42
Наклад 100 прим. Зам. № 2008-118

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел.: (0432) 59-81-59