

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А.С. ВАСЮРА, Т.Б. МАРТИНЮК, Л.М. КУПЕРШТЕЙН

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НЕЙРОПОДІБНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ
ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ**

Монографія

УНІВЕРСУМ-Вінниця
2008

УДК 004.8+004.93

В 20

Рецензенти:

І. М. Богасенко, доктор технічних наук, професор

В. М. Кичак, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 27.03.2008).

Васюра А. С., Мартинюк Т. Б., Куперштейн Л. М.

В 20 **Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування: Монографія.** – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 175 с.

ISBN 978-966-641-279-2

В монографії розглядається розробка, вдосконалення та дослідження методів та засобів нейроподібної обробки векторних масивів даних, які базуються на принципах порогової паралельної обробки інформації за різницевиими зрізами. Монографія містить необхідні відомості щодо аналізу та дослідження функціональних можливостей та ефективності моделі формального нейрона на базі різницевих зрізів, а також схемної і апаратної реалізації у вигляді конвеєрних процесорів на програмованих логічних інтегральних схемах.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються розробкою та удосконаленням методів паралельної обробки інформації, а також проектуванням апаратних засобів їх реалізації.

УДК 004.8+004.93

ISBN 978-966-641-279-2

© А. Васюра, Т. Мартинюк, Л. Куперштейн, 2008

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ВЕКТОРНИХ МАСИВІВ ДАНИХ У НЕЙРОСТРУКТУРАХ	12
1.1. Застосування нейронних мереж в системах керування	12
1.2. Класифікація та аналіз засобів реалізації нейроструктур	24
1.3. Особливості та перспективи розвитку нейрочипів	30
1.4. Особливості паралельної обробки даних у нейроструктурах ...	36
1.4.1. Особливості KVP-перетворення.....	37
1.4.2. Особливості методу позрізової обробки векторних масивів.....	43
1.5. Ефективність та продуктивність нейрообчислень та нейроструктур.....	49
Висновки	56
2. НЕЙРОПОДІБНА ОБРОБКА ВЕКТОРНИХ МАСИВІВ ЗА МЕТОДОМ РІЗНИЦЕВИХ ЗРІЗІВ.....	58
2.1. Порогове паралельне підсумовування	59
2.1.1. Перший варіант порогового паралельного підсумовування	59
2.1.2. Другий варіант порогового паралельного підсумовування	63
2.1.3. Третій варіант порогового паралельного підсумовування	66
2.2. Паралельне алгебраїчне підсумовування	71
2.3. Порогове паралельне алгебраїчне підсумовування	75
2.4. Аналіз способів порогової паралельної обробки векторних масивів.....	81
Висновки	90
3. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ КОНВЕЄРНИХ ПРОЦЕСОРІВ ДЛЯ НЕЙРОПОДІБНОЇ ОБРОБКИ ВЕКТОРНИХ МАСИВІВ	92
3.1. Реалізація нейроподібної обробки векторного масиву на конвеєрній структурі з накопиченням поточних часткових сум	92

3.1.1. Особливості визначення мінімальних елементів векторного масиву.....	97
3.1.2. Особливості арифметично-логічного пристрою.....	104
3.2. Реалізація нейроподібної обробки векторного масиву на конвеєрній структурі з відніманням поточних складових різницевих зрізів	105
3.3. Моделювання конвеєрного процесу нейроподібної обробки	110
Висновки	113
4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОПОДІБНОЇ ОБРОБКИ ВЕКТОРНИХ МАСИВІВ ДАНИХ.....	116
4.1. Моделювання нейроподібної обробки за різницевими зрізами елементів векторного масиву даних	116
4.2. Емуляція нейронної мережі для розпізнавання символів	127
4.3. Обґрунтування вибору елементної бази для реалізації нейрочипа	135
4.4. Проектування нейрочипа.....	139
4.5. Аналіз результатів імітаційного моделювання	142
4.6. Оптико-електронна нейронна мережа на базі конвеєрного процесора.....	149
Висновки.....	153
ЛІТЕРАТУРА.....	155

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЗІМ – апаратне забезпечення нейронних мереж
АЛП – арифметично-логічний пристрій
ВК – ваговий коефіцієнт
ГД – голографічний диск
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
ЗП – запам'ятовуючий пристрій
ІС – інтегральна схема
КЛБ – конфігурований логічний блок
ЛЧК – логіко-часовий код
МВВ – матриця ваг взаємозв'язків
НВІС – надвелика інтегральна схема
НМ – нейронна мережа
НО – нейроподібна обробка
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій
ОНМ-ГД – оптико-електронна нейронна мережа на основі голографічного диска
ПЕ – процесорний елемент
ІІЗП – процесор загального призначення
ПК – персональний комп'ютер
ПЛІС – програмовані логічні інтегральні схеми
ПМС – просторовий модулятор світла
ППЗП – програмований постійний запам'ятовуючий пристрій
ПЦОС – процесор цифрової обробки сигналів
РЗ – різницевий зріз
РІА – регулярний ітераційний алгоритм
РЧ – реальний час
САПР – система автоматизованого проектування
СІС – спеціалізована інтегральна схема
СК – система керування
ФН – формальний нейрон

ВСТУП

Інтерес до штучних нейронних мереж (НМ) швидко зростає за останні півтора десятка років. Це відродження інтересу викликано як теоретичними, так і прикладними досягненнями, оскільки відкрилися можливості використання нейрообчислень у сферах, які до цього часу відносились лише до області людського інтелекту. З'явилися і широко використовуються можливості створення машин, здатність яких навчатись і запам'ятовувати нагадує розумові процеси людини [1].

Сьогодні при розробці та використанні обчислювальної техніки та систем керування велика увага приділяється підвищенню швидкості обчислень через розпаралелення процесів обробки інформації за допомогою нейромережових технологій. Адже на противагу звичайній фон-Неймановській архітектурі, яка є послідовною за своєю природою, штучні нейронні мережі виграють за рахунок обробки з масовим паралелізмом. Отже, задачі обробки, аналізу зображень та сигналів, ідентифікації та керування динамічними об'єктами, розпізнавання образів, керування фінансовою діяльністю та інші з великою продуктивністю розв'язуються системами, розробленими на базі нейромережевої технології.

Водночас, при моделюванні способів організації та функціонування найпростіших нейроподібних структур існує проблема адекватного відтворення основних функцій порогового нейрона, а саме, накопичення зважених вхідних даних шляхом їхнього підсумовування і порівняння отриманої суми з порогом. Операція підсумовування векторного масиву даних є однією з основних операцій у нейрообробці і не має відповідного рівня паралелізму. Відсутність цієї властивості значно збільшує час обробки даних у нейромережі. До того ж, порівняння з порогом здійснюється після отримання суми зважених величин, а не паралельно із підсумовуванням, що також набагато уповільнює процес обробки. Тому доцільно було б реалізувати суміщення операцій паралельного підсумовування та порівняння з порогом обробки, яке дозволило б отримати вихідний сигнал нейрона, не виконуючи остаточного формування зваженої суми. Найбільш придатним для такої реалізації є

відомий спосіб паралельного підсумовування за методом різницевих зрізів (РЗ), який є різновидом відомого методу паралельного додавання тривалостей групи часових інтервалів, запропонованого провідним вченим у цій галузі науки проф. В.П. Кожем'якою. [2–8].

Українська школа багато років посідає провідні позиції з цього напрямку в світовій науці. Значний внесок у розвиток методів та засобів нейронних та нейроподібних структур зробили: В.В. Грищик, В.М. Глушков, М.М. Амосов, М.І. Шлезінгер, Н.Н. Айзенберг, Е.М. Куссуль, О.М. Різник, С.В. Свечніков, В.П. Кожем'яко, Т.К. Вінцок, Ф.Е. Гече, Р.О. Ткаченко, В.О. Вальковський, Р.А. Бунь, В.О. Яценко та інші.

Таким чином, розробка нових та вдосконалення відомих методів паралельного порогового підсумовування та їх апаратна реалізація на перспективній елементній базі є на сьогоднішній день важливими завданнями проектування нових надшвидких нейроструктур для побудови на їх основі високоефективних засобів та елементів обчислювальної техніки та систем керування.

Метою цієї роботи є вдосконалення, а саме, збільшення швидкодії та розширення функціональних можливостей методів та засобів нейроподібної обробки масивів даних для задач ідентифікації та керування динамічними об'єктами з використанням нейромрежесвих технологій. Предметом дослідження є структурна організація конвеєрних процесорів як цифрових нейрочипів для порогової паралельної обробки числової інформації. Методи дослідження базуються на основі положень теорії математичної логіки, апарату математичного аналізу та статистики для розробки і дослідження варіантів порогового паралельного підсумовування; теорії аналізу і синтезу обчислювальних систем для розробки структур конвеєрних процесорів та реалізації їх на схемах програмованої логіки, а також оцінки їх продуктивності; теорії цифрової обробки сигналів та зображень для моделювання роботи багатозарового перцептрона при розв'язанні задачі ідентифікації арабських цифр; теорії нейрообчислень та нейроструктур для вдосконалення та аналізу моделей формального нейрона (ФН).

У монографії розглянуто питання вдосконалення відомого методу паралельного підсумовування елементів векторного масиву даних за РЗ, як базового у нейроподібній обробці векторних масивів; запропоновано три варіанти порогового паралельного підсумовування за РЗ, доведено їх швидкодійність; модифіковано модель ФН з реалізацією елементів механізму латерального гальмування; розроблено засоби нейроподібної обробки за РЗ векторних даних у вигляді структур конвеєрних процесорів; досліджено та доведено часові залежності паралельного та порогового паралельного підсумовування за РЗ; виконано моделювання нейромережі для розв'язання задачі ідентифікації; виконано проєктування нейрочипу на базі конвеєрних процесорів на перспективній елементній базі – ПЛІС; модифіковано метод оцінювання продуктивності та оцінено за ним продуктивність конвеєрних процесорів для нейроподібної обробки даних; наведено приклад практичного використання нейрочипу на базі конвеєрних процесорів у гібридній оптико-електронній нейромережі [9–29].

У першому розділі проведено аналіз перспективності та ефективності застосування НМ для розв'язання задач ідентифікації та керування динамічними системами. Показано можливість розв'язання задач ідентифікації з точки зору задачі класифікації (розпізнавання) образів. Наведено результати порівняльного аналізу реалізації систем керування традиційними методами та за допомогою нейронних технологій, які свідчать про збільшення ефективності обробки даних при використанні саме нейронних мереж у системах керування (СК).

Аналіз варіантів реалізації нейроструктур показав переваги їх апаратної реалізації порівняно із програмною, що пояснює актуальність розробок та широкий асортимент апаратного забезпечення нейромереж на теперішній час. В результаті аналізу визначено, що найкращою елементною базою нейрообчислювачів є нейрочипи на відміну від акселераторних плат та процесорів загального призначення. Аналіз засобів реалізації нейрочипів показав перспективність їх реалізації на базі ПЛІС у порівнянні з іншою елементною базою (НВІС, ПЦОС, ПЗП та ін.), що дозволяє визначити

ПЛС як прийнятну елементну базу для реалізації спеціалізованих нейрочипів та використання їх для розв'язання широкого класу задач.

Огляд особливостей та перспектив розвитку нейрообчислювачів показав перспективність їх реалізації при сумісному використанні оптичної та цифрової електронної апаратури, де векторне перемноження виконується в оптичному тракті, а всі інші обчислення виконуються електронною частиною за допомогою нсйрочипа. Крім того, реалізація нейрочипів саме на ПЛС дозволяє отримати на одному кристалі цілком інтегровану нейронну систему чи фрагмент нейронної мережі з широкими можливостями каскадування.

Аналіз особливостей багатооперандної обробки даних у нейроструктурах показав актуальність та доцільність її реалізації на базі РЗ. Це дозволяє реалізувати сортування та відновлення елементів первісного масиву, а також суміщення операції зваженого підсумовування та порогової обробки елементів вхідного масиву, що значно збільшує швидкість обчислень.

В результаті аналізу методів обчислення продуктивності нейроструктур, показано різке (на два порядки) зростання відношення продуктивності (кількість перемикачів зв'язків за 1 с) до вартості при переході до спеціалізованих нейронних архітектур. Також розглянуто метод оцінювання продуктивності пристроїв з конвеєрним принципом обробки інформації, аналіз якого показав залежність значного зростання продуктивності ресурсів конвеєра із зростанням довжини оброблюваного векторного масиву.

У другому розділі запропоновано математичні моделі способів порогового паралельного підсумовування та проведено їх порівняльний аналіз. Показано розширені функціональні можливості способів, що полягають у можливості отримання відсортованих елементів векторного масиву даних одночасно з їх підсумовуванням та пороговою обробкою. Отримано аналітичні та графічні часові залежності максимальної та мінімальної тривалості порогової паралельної обробки від розмірності вхідного векторного масиву, які доводять їх швидкодійність у порівнянні з відомими аналогами.

Досліджено способи паралельного алгебраїчного підсумовування та порогового паралельного алгебраїчного підсумовування, які дозволяють модифікувати модель ФН з латеральним гальмуванням, що забезпечує більш широку сферу їх

ефективного застосування завдяки обробці як додатних (підсилюючих), так і від'ємних (гальмуючих) зважених сигналів векторного масиву. Проведено порівняльний аналіз запропонованих варіантів порогової паралельної обробки за РЗ з відомим послідовним алгоритмом порогової обробки та алгоритмом на базі рекурсивного подвоєння. При цьому доведено, що запропоновані варіанти моделі ФН за своїм функціонуванням у значній мірі наближаються до функціонування біологічних аналогів.

У третьому розділі представлено структурну організацію двох конвеєрних процесорів у вигляді лінійного систолічного масиву, алгоритми роботи яких базуються на способах порогової паралельної обробки за РЗ. Вони відрізняються розширеними функціональними можливостями, які полягають у тому, що момент перевищення суми вхідних операндів над порогом обробки у процесорах фіксується без формування остаточного значення суми всіх чисел масиву. Такий підхід забезпечує максимальний паралелізм обробки масиву чисел, а також прискорює процес обробки даних.

Здійснено моделювання конвеєрного процесу порогової обробки векторного масиву даних обох конвеєрних процесорів. Якісно визначено такі загальні характеристики, як час розгону конвеєра та загальний час обробки, а також побудовано часові діаграми конвеєрного процесу обробки. Їх аналіз показав, що яруси конвеєра працюють без простоїв, а апаратний ресурс процесорів ефективно використовується.

В четвертому розділі проведено комп'ютерне моделювання способів порогового паралельного підсумовування за РЗ, а саме, досліджено залежність середньої кількості ітерацій N порогової обробки масиву чисел від розмірності n масиву, середньоквадратичного відхилення σ елементів масиву та величини порогу P . Аналіз графічних залежностей довів ефективність порогової обробки за РЗ.

Здійснено комп'ютерне моделювання нейромережі прямого розповсюдження для задачі розпізнавання арабських цифр. Результати моделювання показали, що тришарова нейромережа з пороговою функцією активації у вхідному шарі розпізнає цифри майже зі стовідсотковою точністю.

Визначено та виконано основні етапи створення фрагменту багатшарової нейронної мережі на ПЛІС. Проведено імплементацію

двох варіантів нейрочипів з фрагментом шару мережі на 4 входи, які оперують з цілими додатними бінарними чотирирозрядними операндами. Доведено ефективність реалізації багат шарових НМ чи їх фрагментів з багатовхідними пороговими нейронами, що працюють за методом РЗ, на базі ПЛІС Xilinx великої логічної ємності.

Модифіковано метод та оцінено за ним продуктивність промодельованих нейрочипів на базі запропонованих конвеєрних процесорів. Доведена ефективність використання запропонованих способів конвеєрної обробки і процесорів у багатоперандній нейрообробці.

Запропоновано використання промодельованих нейрочипів на базі конвеєрних процесорів у гібридній оптико-електронній нейронній системі на основі голографічного диска, що дозволяє отримати високу швидкість нейрообчислень за рахунок роздільного виконання операцій векторного множення та порогового підсумовування в оптичній та електронній частинах системи відповідно.

Окремі результати роботи впроваджено у навчальний процес при викладанні дисципліни "Елементи та пристрої систем управління і автоматики" на кафедрі автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, дисциплін: "Нові інформаційні технології обробки, аналізу та розпізнавання зображень", "Архітектура і структурна організація нейрокомп'ютерів" на кафедрі лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету, а також дисципліни "Інформаційні системи і технології в економіці" на кафедрі інформаційних систем і технологій Вінницького фінансово-економічного університету.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників у галузі інтелектуальних технологій, обчислювальної техніки, систем керування, паралельної обробки сигналів та зображень, а також студентів, магістрів та аспірантів відповідних напрямків.

Автори висловлюють щире подяку академіку, проф. Б.І. Мокіну за підтримку та конструктивні поради, проф. В.П. Кожем'яці, проф. В.М. Дубовому, проф. Р.Н. Кветпому, проф. В.С. Осадчуку, проф. В.А. Лужецькому за плідне обговорення результатів та допомогу в процесі роботи над монографією.

Важливою перевагою голографічного диска є велика ємність пам'яті. При щільності запису цифрової інформації $320 \cdot 10^6$ біт/мм² ємність ГД на основі фероелектричного полімеру – необата літію (LiNbO₃) складає 2,4 Тбіт, яка досягається за рахунок накладення голограм [201–203], що в свою чергу дозволяє зберігати до 2 млн матриць зв'язків розмірністю 1024×1024 (1 Мбіт).

ВИСНОВКИ

1. Виконано моделювання процесу паралельного та порогового паралельного підсумовування елементів векторного масиву даних за РЗ, а також послідовної порогової обробки. В результаті моделювання одержано графічні залежності середньої кількості циклів підсумовування від розмірності масиву, що дозволяє визначити при відомих мінімальному і максимальному значеннях саме середній час процесу обробки. Аналіз залежностей експериментально довів доцільність та ефективність використання методу різницевих зрізів для порогового підсумовування елементів великих масивів даних у порівнянні з послідовним методом.

2. Здійснено моделювання нейромережі прямого розповсюдження за допомогою інструментарію Neural Networks Toolbox ПППІ MATLAB для задачі розпізнавання арабських цифр. Результати моделювання показали, що тришарова нейромережа з пороговою функцією активації у вхідному шарі розпізнає цифри зі стовідсотковою точністю. Це доводить можливість використання запропонованих конвеєрних процесорів при проектуванні нейронних систем для розв'язання задач керування, ідентифікації та класифікації в якості нейронів вхідного шару.

3. Розглянуто особливості САПР для проектування нейрочипа на ПЛС Xilinx, а саме пакетів Xilinx Foundation та WebPACK ISE. Для проектування обрано пакет програм Xilinx Foundation Series 2.1 за його розширені можливості у порівнянні з WebPACK ISE. В якості редактора схем використано схемотехнічний редактор, оскільки схема проекту не вирізняється особливою складністю, а також має регулярну структуру. Це, в свою чергу, дозволило швидко і якісно виконати початковий етап проектування конвеєрних процесорів.

4. Визначено основні етапи створення нейронної мережі на ПЛІС. Проведено імплементацію двох варіантів нейрочипів з фрагментом шару мережі на базі ПЛІС XC95288XL-6-BG256. Результати імплементації довели можливість реалізації багатозарових НМ чи їх фрагментів з багатовхідними пороговими нейронами, що працюють за методом РЗ, на базі ПЛІС Xilinx великої логічної ємності.

5. В результаті аналізу результатів моделювання на ПЛІС Xilinx нейрочипа з фрагментом шару НМ на базі конвеєрних процесорів оцінено їх максимальний час порогової обробки 16-ти вхідних операндів, який складає 0,26 мкс та 0,23 мкс при використанні першого та другого типів процесорів, відповідно. Це дозволяє припустити, що такий нейрочип на базі запропонованих конвеєрних процесорів буде працювати в реальному часі.

6. Модифіковано метод та теоретично оцінено продуктивність змодельованих нейрочипів на базі запропонованих конвеєрних процесорів при обробці 16 операндів, яка складає до 500 млн оп./с, що на порядок більше, ніж у аналога – багатовхідного конвеєрного суматора. Коефіцієнти використання комбінаційних схем та завантаженості конвеєра становлять близько 50% для поліпшення чого необхідно збільшити кількість оброблюваних операндів, що цілком можливо при використанні чипів ПЛІС більш великої логічної ємності. Проте використання конвеєрних процесорів вже при такій обчислювальній потужності може забезпечити їх практичне використання у нейронній частині нейро-нечіткої системи виявлення шахрайства у телекомунікаційних мережах в режимі, близькому до рч.

7. Запропоновано використання змодельованих нейрочипів на базі конвеєрних процесорів у гібридній оптико-електронній нейронній системі на основі голографічного диска, що дозволяє отримати високу швидкість нейрообчислень за рахунок роздільного виконання операцій векторного перемноження та порогового підсумовування у оптичній та електронній частинах системи, відповідно. Теоретичні розрахунки показали швидкодію такої системи порядку 10^{11} перемикань зв'язків за секунду, що на декілька порядків більше багатьох відомих аналогів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1992. – 240 с.
2. А.с. 1119035 СССР, МКИ G06G 7/14 Способ параллельного сложения длительностей группы временных интервалов / В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко, Т.В. Головань, Н.Е. Фурдияк, Т.Б. Мартынюк (СССР). – № 3528309/18; Заявлено 24.12.82; Опубл. 15.10.84, Бюл. № 38, 5 с.
3. Кожемяко В.П. Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды / В.П. Кожемяко – Тбилиси: Мецниереба, 1984. – 359 с.
4. Оптоэлектронные параллельные вычислительные устройства / [В.П. Кожемяко, О.Г. Натрошвили, Л.И. Тимченко, Г.Л. Лысенко, Д.О. Саникидзе, О.Т. Цинцадзе]. – Тбилиси : Тбилисский университет, 1985. – 246 с.
5. Свечников С.В. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / С.В. Свечников, В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко. – К. : Наукова думка, 1987. – 256 с.
6. Натрошвили О.Г. Организация оптоэлектронных некогерентных процессоров ЦВМ / О.Г. Натрошвили, В.П. Кожемяко, Д.О. Саникидзе. – Тбилиси : Ганатлеба, 1989. – 512 с.
7. Мартинюк Т.Б. Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації / Т.Б. Мартинюк. – Вінниця : Універсам-Вінниця, 2000. – 216 с. – ISBN 966-7199-98-3.
8. Кожем'яко В.П. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту / [ред. рада: В.П. Кожем'яко. (голова) та ін.]. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2003. – 324 с. – ISBN 966-641-072-9.
9. Мартинюк Т.Б. Аналіз моделей паралельного підсумовування елементів числового масиву / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хом'юк, Л.М. Куперштейн, Є.С. Матвеев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – №6. – С. 51–56.

10. Мартинюк Т.Б. Особливості реалізації ітераційних алгоритмів багатооперандної обробки на систолічних масивах / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, Л.М. Куперштейн // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2002. – №4. – С. 123–133.
11. Куперштейн Л.М. Модель формального нейрона з використанням принципу різницевих зрізів / Л.М. Куперштейн, А.В. Кожем'яко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 284–288.
12. Васюра А.С. Реалізація паралельної обробки даних на пороговому підсумовуючому пристрої / А.С. Васюра, Л.М. Куперштейн // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 5. – С. 59–65.
13. Мартинюк Т.Б. Систоліческие структури для многооперандной обработки информации / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хом'юк, А.В. Кожем'яко, Л.М. Куперштейн // Сучасні інформаційні технології. “Наука і освіта 2004”: VII Міжнар. наук.-практ. конф., матеріали. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 17–21. – ISBN 966-7191-86-9.
14. Мартинюк Т.Б. Особливості багатооперандної обробки векторного масиву чисел за методом різницевих зрізів / Т.Б. Мартинюк, А.Г. Буда, Л.М. Куперштейн, К.А. Балашов // Сучасні інформаційні технології. “Динаміка наукових досліджень 2004”: III Міжнар. наук.-практ. конф., матеріали. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2004. – С. 8–12. – ISBN 966-7191-86-9.
15. Мартинюк Т.Б. Организация конвейерного процессора для порогового суммирования элементов векторного массива / Т.Б. Мартинюк, А.Г. Буда, Л.М. Куперштейн, Р.А. Расенко, Д.И. Климкина // “ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2004”: Междунар. науч.-техн. конф., 18-21 сент. 2004 г.: сб. тр. – Винница-Ялта, 2004. – С. 40–44.
16. Мартинюк Т. Багатофункціональна регулярна структура для обробки векторних даних / Т. Мартинюк, А. Буда, В. Хом'юк, Л. Куперштейн // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів: “УкрОБРАЗ'2004”: праці VII Всеукр. міжнар. конф., 11-

- 15 жовтня 2004 р. – К. : Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, 2004. – С. 33–36. – ISBN 978-966-479-007-6.
17. Куперштейн Л. Модель паралельного підсумовування як основної операції над даними у нейроструктурі / Л. Куперштейн, Р. Расенко // “OPTOELECTRONIC INFORMATION-ENERGY TECHNOLOGIES-2002”: II Міжнар. наук.-техн. конф., зб. тез. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – с. 16.
 18. Куперштейн Л.М. Конвеєрний пристрій для паралельного порогового підсумовування векторного масиву чисел / Леонід Михайлович Куперштейн // XXXII наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВДГУ., зб. тез. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, – 2003. – С. 138.
 19. Кожем'яко А.В. Новий підхід до моделювання формального нейрона / А.В. Кожем'яко, Л.М. Куперштейн // “Комп'ютери. Програми. Інтернет. 2003”: Міжнар. наук.-техн. конф., зб. тез. – К. : Політехніка, 2003. – С. 37.
 20. Куперштейн Л.М. Модель формального нейрона з використанням принципу різницевого зрізів / Л.М. Куперштейн, А.В. Кожем'яко // “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2003)”: VII Міжнар. наук.-техн. конф., зб. тез. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – С. 78. – ISBN 966-641-063-X.
 21. Патент № 55862А Україна, МПК 7 G066/14. Підсумовуючий пороговий пристрій / Т.Б. Мартинюк, О.В. Павлюк, Б.С. Барський, Л.М. Куперштейн, І.В. Мисловський. – № 2002075728; Заявлено 11.07.2002; Опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4. – 4 с.
 22. Патент № 67004А Україна, МПК 7 G06G7/14. Конвеєрний пристрій / Т.Б.Мартинюк, А.С. Васюра, Л.М. Куперштейн, А.В. Кожем'яко, І.В. Мисловський. – № 2003043663; Заявлено 22.04.2003; Опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6. – 10 с.
 23. Патент № 67652А Україна, МПК 7 G06G7/14. Конвеєрний пристрій / А.С. Васюра, В.Г. Лисогор, Т.Б. Мартинюк, Л.М. Куперштейн, М.В. Дзись. – № 2003119839; Заявлено 03.11.2003; Опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6. – 10 с.

24. Патент № 70884А Україна, МПК 7 G06G7/14. Спосіб порогового паралельного додавання тривалостей групи часових інтервалів / Т.Б.Мартинюк, А.С. Васюра, Л.М. Куперштейн, А.В. Кожем'яко. – № 20031213278; Заявлено 31.12.2003; Опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 10 с.
25. Патент № 70886А Україна, МПК 7 G06G7/14. Спосіб порогового паралельного додавання тривалостей групи часових інтервалів / Т.Б.Мартинюк, Л.М. Куперштейн. – № 2003121328; Заявлено 31.12.2003; Опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 10 с.
26. Пат. № 5495 Україна, МПК 7 G06G7/14. Спосіб паралельного алгебраїчного додавання тривалостей групи часових інтервалів / А.С. Васюра, Т.Б.Мартинюк, Л.М. Куперштейн, І.В. Мисловський. – № 200470604914; Заявлено 21.06.2004; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. – 8 с.
27. Пат. № 73776 Україна, МПК7 G06G7/14. Спосіб порогового паралельного алгебраїчного додавання тривалостей групи часових інтервалів / Т.Б.Мартинюк, В.В. Хом'юк, Л.М. Куперштейн. – № 2003010394; Заявлено 16.01.2003; Опубл. 15.09.2005, Бюл. №9. – 14 с.
28. Пат. №11957 Україна, МПК6 G06G7/14, B23K 9/16. Спосіб порогового паралельного алгебраїчного додавання тривалостей групи часових інтервалів / Т.Б. Мартинюк, Л.М. Куперштейн, В.В. Власійчук. – №200507014; Заявлено 15.07.2005; Опубл. 16.01.2006. - Бюл. №1. – 6 с.
29. Васюра А.С. Конвеєрний процесор для порогової обробки інформації / А.С. Васюра, Л.М. Куперштейн // "PHOTONICS-ODS 2005": Міжнар. наук.-техн. конф., зб. тез. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, – 2005. – С. 84. – ISBN 966-641-123-7.
30. Комашинский В.И. Нейронные сети в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с. – ISBN 5-93517-049-9.
31. Бондарь Т.А. Нейрокомпьютеры в управлении / Т.А. Бондарь, А.С. Логовский // Зарубежная радиоэлектроника. – 1997. – №2. – С. 57-71.

32. Глонь О.В. Комп'ютеризовані системи управління: навч. посіб. / О.В. Глонь, О.М. Дубовой, Ю.І. Мітюшкін. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 157 с.
33. Ципкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Ципкин. – М. : Наука, – 1968. – 400 с.
34. Narendra K.S. Intelligent Control Using Neural Networks / K.S. Narendra // IEEE Control System Magazine. – 1992. – Vol.12, №2. – P.11-18.
35. Hunt K. Neural Networks for Control Systems / K. Hunt, D. Sbarbaro // Automatica. – 1992. – Vol. 28, №6. – P.1083-1112.
36. Нейронные сети в системах автоматизации / [Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А.]. – К. : Техника, 1999. – 364 с. – ISBN 966-575-072-0.
37. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М. : ИПРЖР, 2002. – 425 с. – ISBN 5-93108-016-3.
38. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов. – М. : Наука, 1988. – 390 с.
39. Astrom K. J. Adaptive control / K.J. Astrom, B. Wittenmark. – New York : Addison Wesley, 1989. – 257 p.
40. Александров Л.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. – М.: Высшая школа, 1989. – 432 с.
41. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими объектами / И.В. Мирошник, В.О. Никифоров. – СПб. : Наука, 2000. – 450 с.
42. Омату С. Нейроуправление и его приложения / Омату С., Халид М.; [пер. с. англ.]. – М. : ИПРЖР, 2000. – 272 с. – ISBN 5-93108-006-6.
43. Hornik K. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators / K. Hornik, M. Stinchcombe, H. White // Neural Networks. – 1989. – Vol.2, №4. – P. 359-366.
44. Jakel J. Successful Applications of Fuzzy Logic and Fuzzy Control / J. Jakel, A. Kroll // Automatisierungstechnik. – 2002. – № 10. – P.461-471.

45. Поспелов В.А. Нечеткие множества в моделях управления и интеллекта / В.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 265 с.
46. Алиев Р.А. Нечеткие алгоритмы и системы управления / Р.А. Алиев, С.В. Ульянов. – М.: Знание, 1990. – 320 с.
47. Алиев Р.А. Управление производством при нечеткой исходной информации / Р.А. Алиев, А.Э. Церковный, Г.А. Мамедова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с. – ISBN 5-283-01461-4.
48. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 295 с.
49. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 143 с. – ISBN 5-93517-181-3.
50. Минаев Ю.Н. Методы и алгоритмы идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом логическом базисе / Ю.Н. Минаев, О.Ю. Филимонова, Л. Бенаумер. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 205 с. – ISBN 5-93517-129-5.
51. Nguen D. Neural Networks for Self-Learnig Control Systems / D. Nguen, B. Widrow // IEEE Control System Magazine. – 1990. – Vol. 10, №3. – P.18-23.
52. Gomi H. Neural Network control for a closed loop system using feedback error learning / H. Gomi, M. Kawato // Neural Networks. – 1993. – Vol.6. – P.933-946.
53. Красовский А.А. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами / А.А. Красовский. – М.: Наука, 1977. – 272 с.
54. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. – 225 с.
55. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с. – ISBN 966-7199-49-5.
56. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Цыпкин Я.З. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

57. Стариков А.А. Практическое применение нейронных сетей для задач классификации (кластеризации) : – Режим доступа до публікацій компанії BaseGroup Labs: <http://www.basegroup.ru/neural/prectice.htm>.
58. Неймарк Ю.И. Многомерная геометрия и распознавание образов / Ю.И. Неймарк // Математика. – 1996. – №7. – С.119-123.
59. Теория автоматического управления / [А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин та ін.]; под. ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1986. – 504 с.
60. Мендель М. Применение искусственного интеллекта для создания систем управления / М. Мендель, Дж. Запалак; [пер. с англ. под. ред. Г.Е. Поздняка] // Кибернетические проблемы бионики. – М. : Мир, 1972. – С. 174-263.
61. Маккаллок У.С. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной деятельности. Автоматы / У.С. Маккаллок, У. Питтс; [пер. с англ.]. – М. : ИЛ, 1956. – 327 с.
62. Минский М., Пейперт С. Перцептроны. / М. Минский, С. Пайперт ; [пер. с англ.]. – М. :Мир, 1971. – 365 с.
63. Павленко М. Нервные сети / М. Павленко // Мой компьютер. – 2005. – № 7. – С. 36-38.
64. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан; [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 288 с. – ISBN 5-8459-0210-6.
65. Лавриненко К.А. Нейромережева ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів на основі багатозарового перцептронун: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.23 / К.А. Лавриненко. – Харків, 2004. – 20 с.
66. Макаров И.М. Новое поколение интеллектуальных регуляторов / И.М. Макаров, В.М. Лохин, В.М. Еремин // Приборы и системы управления. – 1997. – № 3. – С. 2-6.
67. Chu R. Neural Networks for System Identification / R. Chu, R. Shoureshi, M. Tenorio // IEEE Control System Magazine. – 1990. – Vol. 10, № 3. – P.31-35.

68. Пономарев С. Нейронные сети / С. Пономарев // INFUSED BYTES OnLine. – 1998. – №5. – Режим доступа до журн.: <http://www.enlight.ru/ib/tech/neural/index.html>.
69. Kraft G. A Comparison Between CMAC Neural Network Control and Two Traditional Adaptive Control System / G. Kraft, D. Compagna // IEEE Control System Magazine. – 1999. – Vol. 10, № 3. – P. 36-43.
70. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов [под ред. А.В. Каляева, Ю.В. Чернухина]. – М. : Наука, 1990. – 152 с. – ISBN 5-02-014095-3.
71. Свечников С.В. Нейротехнические системы обработки информации / С.В. Свечников, А.М. Шквар. – К. : Наук. думка, 1983. – 224 с.
72. Буков А.А. Технические нервные системы. Обучаемые системы управления со зрением для промышленных роботов / А.А. Буков. – Липець: Липецкий государственный технический университет, 2001. – 223 с. – ISBN 5-88247-071-4.
73. Амосов Н.М. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Н.М. Амосов, Т.Н. Байдык, А.Д. Гольцев. – К. : Наукова думка, 1991. – 250 с.
74. Махотило К.В. Разработка методик эволюционного синтеза нелинейных компонентов систем управления: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06 / К.В. Махотило; Харк. нац. ун-т радіозлектрон. – Харків, 1998. – 20 с.
75. Филаретов Г.Ф. Применение искусственных нейронных сетей в системах управления / Г.Ф. Филаретов, А.В. Житков, В.А. Кабанов // Приборы и системы управления. – 1999. – № 4. – С. 3-6.
76. Галушкин А.И. О современных направлениях развития нейрокомпьютеров / А.И. Галушкин // Информационные технологии. – 1997. – № 5. – С. 2-5.
77. Narendra K.S. Identification and control of dynamical systems using neural networks / K.S. Narendra, K.M. Parthasarathu // IEEE Control System Magazine. – 1990. – Vol.1, № 2. – P.4-27.
78. Yihua L. Neural Networks in Hardware: A Survey – Режим доступа: <http://cs.ucdavis.edu>.

79. Sarle W.S. Neural Network FAQ – Режим доступа: <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>.
80. Documentation of the programs xmlp and wmlp – Режим доступа: <http://fuzzy.cs.uni-magdeburg.de>.
81. Нейронные сети. Statistica Neural Networks; [пер. с англ.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 181 с. – ISBN 5-93517-015-9.
82. SNNS-Stuttgart Neural Network Simulator: User Manual – Режим доступа: <http://www.informatik.unistuttgart.de/ipvr/bv/projekte/snns>.
83. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А.В. Горбань, Д.С. Россиев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с. – ISBN 5-02-031196-0.
84. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учеб. пособие по курсу «Микропроцессоры» / П.Г. Круг. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 176 с. – ISBN 5-7046-0832-9.
85. Нейрокомпьютеры – архитектура и реализация – Режим доступа до серверу аналітичної інформації CITFORUM: http://citforum.web.am/hardware/neurocomp/neurocomp_05.shtml.
86. Галушкин А.И. Некоторые исторические аспекты развития элементной базы вычислительных систем с массовым параллелизмом (80-е и 90-е годы) / А.И. Галушкин // Нейрокомпьютер. – 2000. – № 1. – С. 68-82.
87. Проблемы построения и обучения нейронных сетей / Под ред. А.И. Галушкина, В.А. Шахнова. – М. : Машиностроение, 1999. – 105 с.
88. Кирсанов Э.Ю. Нейрокомпьютеры с параллельной архитектурой / Э.Ю. Кирсанов; [под ред. И.Галушкина]. – М. : Радиотехника, 2004. – 496 с. – ISBN 5-93108-069-4.
89. Логовский А. Технология ПЛИС и ее применение для создания нейрочипов / А. Логовский // Открытые системы. – 2000. – №10. – С. 20-25. – Режим доступа до журн.: http://www.osp.ru/os/2000/10/019_print.htm.
90. Галушкин А.И. Цифровые нейрочипы (специализированные цифровые БИС для нейрокомпьютеров) / А.И. Галушкин, Д.В. Кирсанов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. – № 1. – С.17-37.

91. Schwartz T.J. A Neural Chips Survey / T.J. Schwartz // *AI Expert*. – 1990. – Vol.5, №12. – P. 34-39.
92. Tam S. Learning on an Analog VLSI Neural Network Chip / S. Tam, B. Gupta, H. Castro // *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*. – 1990. – №7. – P. 507-515.
93. Sackinger E. Application of the ANNA Neural Network Chip to High Speed Character Recognition / E. Sackinger, E.B. Boser, J. Bromley, L.D. Jackel // *IEEE Transactions on Neural Networks*. – 1992. – Vol.3, № 3. – P. 498-505.
94. Yu F. Compact size optical neural network using liquid crystal televisions / F. Yu, T. Lu, X. Yang, A. Gregory // *Proceedings SPIE*. – 1990. – №1. – P.12-15.
95. Wu S. An adaptive optical neural network using a high resolution videomonitor / S. Wu, T. Lu, X. Xu, F. Yu // *Microwave and Optic Techniques Letters*. – 1989. – Vol.2, № 7. – P. 252-265.
96. Psaltis D. Optical memory disks in optical information processing / D. Psaltis, M. Neifeld, A. Jamamura // *Applications Optics*. – 1990. – Vol.29, № 14. – P. 2038-2045.
97. Farhat N. Optical implementation of the Hopfield model / N. Farhat, D. Psaltis, A. Prate, E. Park // *Applications Optics*. – 1985. – Vol.24. – P. 1469-1475.
98. Микаалян А.Л. Оптические методы в информатике: запись, обработка и передача информации / А.Л. Микаалян – М. : Наука, 1990. – 350 с.
99. Блок А.А. Экспериментальные исследования достоверности считывания данных в голографических ЗУ / А.А. Блок, В.А. Домбровский, С.А. Домбровский // *Автометрия*. – 1984. – № 3. – С. 54-62 .
100. Kutanov A.A. Holographic disk with thermoplastic recording for optical information processing / A.A. Kutanov, B.D. Abdrisaev // *Optical Computing and Processing*. – 1991. – Vol.1, № 4. – P. 315-319.
101. Панасюк Л.М. Исследование характеристик фототермопластических носителей, предназначенных для теражирования информации / Л.М. Панасюк, Н.А. Барба, С.В. Робу // *Фунда-*

- ментальные основы оптической памяти и среды. – 1989. – № 20. – С. 32-36.
102. Панасюк Л.М. Некоторые особенности процесса рельефообразования на фототермопластических носителях при их применении в двухпозиционной интерферометрии / Л.М. Панасюк, И.В. Чакурин // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67, № 8. – С. 76-78.
103. Kutanov A.A. Holographic disk based optical neural network / A.A. Kutanov, B.D. Abdrisaev, S.Z. Dordoev // Optical Letters. – 1992. – Vol.17, № 13. – P. 952-959.
104. Оптико-электронная нейронная сеть на основе голографического фототермопластического диска / А.А. Акаев, А.А. Кутанов, С.З. Дордоев, Б.Д. Абдрисаев, И.А. Снимщиков // Автометрия. – 1993. – № 4. – С. 37-44.
105. Капитанов В.Д. Построение на ПЛИС фирмы Xilinx высокопроизводительных нейронных сетей и нейрочипов / В.Д. Капитанов, В.Г. Мистюков // Scan Engineering Telecom. – 1999. – 7 с. – Режим доступа: http://www.scan.com/art_neur.pdf.
106. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / В.В. Соловьев. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 636 с. – ISBN 5-93517-043-4.
107. Аряшев С.И. Параллельный перепрограммируемый вычислитель для систем обработки информации и сигналов / С.И. Аряшев, С.Г. Бобков, Е.А. Сидоров // "Нейроинформатика-99": Всерос. науч.-техн. конф.: сб.тр. – М.:МИФИ, 1999. – С. 25-33. – ISBN 5-7262-0311-9.
108. Гамаюн В.П. О развитии многооперандных вычислительных структур / В.П. Гамаюн // УСиМ. – 1999. – № 4. – С. 31-33.
109. Гамаюн В.П. Способ ускоренного преобразования многорядного кода в однорядный / Гамаюн В.П. // УСиМ. – 1995. – № 4/5. – С. 10-14.
110. Timchenko L. Parallel transformation / L. Timchenko, M. Grudin, T. Martynyuk, A. Kozhemuako // УСиМ. – 1999. – № 5. – С. 93-95.

111. Оптоэлектронная схемотехника: учеб. пос. / [Кожемяко В.П., Натрошвили О.Г., Мартынюк Т.Б., Имнашвили Л.Ш.]. – К.: УМК ВО, 1988. – 276 с.
112. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники: учеб. пос. / Кожемяко В.П., Тимченко Л.И., Лысенко Г.Л. – К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.
113. Кожем'яко В.П. Особливості виконання KVP-перетворення / В.П. Кожем'яко, Ж.О. Бітюкова, М.О. Юрченко // "PHOTONICS-ODS 2005": III Міжнар. наук.-техн. конф.: зб. тез. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 83-84. – ISBN 966-641-123-7.
114. Лорин Г. Сортировка и системы сортировки / Г. Лорин; [пер. с англ.] – М.: Наука, 1983. – 384 с.
115. Самофалов К.Г. Основы теории многоуровневых конвейерных вычислительных систем / К.Г. Самофалов, Г.М. Луцкий – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
116. Кожем'яко А.В. Особливості конвеєрного процесу підсумовування масиву чисел / А.В. Кожем'яко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 6. – С. 65-68.
117. Пат. № 46877 Україна, G06G7/14, G06F7/50. Конвеєрний підсумовуючий пристрій/ Мартинюк Т.Б., Кожем'яко В.П., Кожем'яко А.В., Вербицький І.А., Василецький С.А. – № 99063405; Заявлено 18.06.1999; Опубл. 17.06.2002, Бюл. № 6. – 8с.
118. Хом'юк В.В. Методи та засоби паралельних перетворень векторних масивів даних: : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.13, „Обчислювальні машини системи та мережі” / Хом'юк В.В. – Вінниця, 2003. – 20 с.
119. Кожем'яко А.В. Систолічні структури для багатооперандної обробки векторних даних: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.13 / А.В. Кожем'яко. – Вінниця, 2004. – 20 с.
120. Мартинюк Т.Б. Аналіз багатооперандного оброблення з використанням рекурсивного представлення інформації / Т.Б. Мартинюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – №6. – С. 56-59.

121. Hrytsyk V.V. The neural and neural-like networks: synthesis, realization, application and future / V.V. Hrytsyk, N.N. Aizenberg, R.A. Bun // Інформаційні технології і системи. – 1998. – № 1/2. – С.15-55.
122. Крутлов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Крутлов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с. – ISBN 5-93517-031-0.
123. Перцептрон – система распознавания образов / [под ред.: А.Г. Ивахненко]. – К.:Наук. думка, 1975. – 431 с.
124. Гимченко Л.І. Семантичний підхід до створення просторових нейронних мереж / Л.І. Гимченко, Л.В. Загоруйко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 1. – С. 23-29.
125. Рабинович З.Л. Типовые операции в вычислительных машинах / З.Л. Рабинович, В.А. Раманаускас. – К.: Техніка, 1980. – 264 с.
126. Зубчук В.И. Справочник по цифровой схемотехнике / В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. – К.: Техніка, 1990. – 448 с. – ISBN 5-335-00584-X.
127. Патент № 40228 Україна, 7G06G7/14. Спосіб порогового паралельного додавання тривалостей групи часових інтервалів / Кожем'яко В.П., Мартинюк Т.Б., Вербицький І.А., Мартинюк О.Б. – № 2000105973; Заявлено 23.07.2000; Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 4 с.
128. Барський С.Б. Процесор порогової паралельної обробки масиву чисел / С.Б. Барський, О.В. Павлюк // “OPTOELECTRONIC INFORMATION-ENERGY TECHNOLOGIES-2002”: II Міжнар. наук.-техн. конф.: зб. тез. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – С. 25.
129. Воеводин В.В. Параллельная обработка данных – Режим доступа: <http://www.parallel.ru/vvv/lec1.html>.
130. Кун С. Матричные процессоры на СБИС / С. Кун; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1991. – 672 с. – ISBN 5-03-001857-3.
131. Кухарев Г.А. Систолические процессоры для обработки сигналов / Г.А. Кухарев, А.Ю. Тропченко, В.П. Шмерко. – Мн. : Беларусь, 1988. – 127 с.

132. Кухарев Г.А. Алгоритмы и систолические процессоры для обработки многозначных данных / Г.А. Кухарев, А.Ю. Шмерко, В.П. Шмерко. – Мн.: Наука і техника, 1990. – 296 с. – ISBN 5-343-00625-6.
133. Гун С. Систолические и волновые матричные процессоры для высокопроизводительных вычислений / С. Гун // ТИИЭР. – 1984. – №7. – С. 133-153.
134. Аксенов В.П. Систолические алгоритмы и процессоры / В.П. Аксенов, П.Я. Красинский, Г.В. Спиридонов // Зарубежная радиоэлектроника – 1987. – №7. – С. 7-33.
135. Никонов В.В. Систолическая обработка информации: элементная база и алгоритмы / В.В. Никонов, С.Г. Кравцов, В.Н. Самошин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 7. – С. 34-51.
136. Молдован Д.И. О разработке алгоритмов для систолических матриц СБИС / Д.И. Молдован // ТИИЭР. – 1983. – Т.91. – №1. – С. 140-149.
137. Шпаковский Г.И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: учеб. пос. / Г.И. Шпаковский. — Мн.: Белгосуниверситет, 1996. — 296 с. – ISBN 985-6144-50-6.
138. Джагадиш Х.В. Матричные структуры для реализации итерационных алгоритмов / Х.В. Джагадиш, С.К. Рао, Кайлат Т. // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75, №9. – С. 184-203.
139. Рао С.К. Регулярные итеративные алгоритмы и их реализация в процессорных матрицах / С.К. Рао, Т. Кайлат // ТИИЭР. – 1988. – Т.76, №3, – С.58-69.
140. Каневский Ю.С. Способ отображения множества индексов переменных алгоритма на систолическую структуру / Ю.С. Каневский, Д.В. Корчев // Кибернетика. – 1991. – № 1. – С. 51-57.
141. Выжиковски Р. Реализация на систолических массивах некоторых итерационных алгоритмов решения систем линейных алгебраических уравнений / Р. Выжиковски, Л.Д. Елфимова, Ю.С. Каневский // Кибернетика и системный анализ. – 1992. – № 5. – С. 145-158.
142. Каневский Ю.С. Метод синтеза многомерной временной развертки вычислений в систолических процессорах / Ю.С.

- Каневский, Д.В. Корчев // Электронное моделирование. – 1990. – Т.12, № 4. – С. 43-49.
143. Выжиковски Р. Формализованный синтез систолических процессоров на примере вычислителей для треугольного разложения симметричных матриц / Р. Выжиковски, Ю.С. Каневский // Кибернетика. – 1990. – №3. – С.41-48.
144. Арифметика, принципы организации, диагностика и формализованное проектирование вычислительных структур и устройств / [В.П. Тарасенко, Н.В. Черкасский, Ю.С. Каневский и др.]. – К. : Вища шк., 1989. – 343 с.
145. Каневский Ю.С. Локально связанные вычисления – состояние и перспективы – Режим доступа: <http://www.icfcst.kiev.ua>.
146. Очин В.Ф. Вычислительные системы обработки изображений / В.Ф. Очин. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.
147. Ивенс Д. Системы параллельной обработки / Д. Ивенс; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1985. – 416 с.
148. Фу К. СВИС для распознавания образов и обработки изображений / К. Фу; [пер. с англ.] – М.: Мир, 1988. – 248 с.
149. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение: учеб. пос. для вузов / А.И. Галушкин. – М.: ИПРЖР, 2000. – 258 с. – ISBN 5-931-08-007-4/
150. Галушкин А.И. Оценка производительности нейрокомпьютеров / А.И. Галушкин, А.И. Крысанов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1998. – №1. – С. 34-45.
151. Кирсанов Э.Ю. Оценка производительности нейрокомпьютеров / Э.Ю. Кирсанов // Нейрокомпьютер. – 1992. – №2. – С. 37-42.
152. Шахнов В. Элементная база параллельных вычислений / В. Шахнов, А. Власов, А. Кузнецов // Открытые системы. – 2001. – №5-6. – С. 10-16. – Режим доступа до журн.: <http://www.osp.ru/os/2001/05-06/017.htm>.
153. Вишенчук И.М. Алгоритмические операционные устройства и супер ЭВМ / И.М. Вишенчук, И.В. Черкасский. – К.: Техника, 1990. – 197 с.
154. Самофалов К.Г. Основы построения конвейерных ЭВМ / К.Г. Самофалов, Г.М. Луцкий. – К.: Вища шк., 1981. – 224 с.

155. Хокни Р. Параллельные ЭВМ: Архитектура, программирование и алгоритмы / Р. Хокни, К. Джесхоуп. – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.
156. Высокоскоростные вычисления: Архитектура, производительность, прикладные алгоритмы и программы для супер ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 432 с.
157. Вейценбаум Дж. Возможности вычислительных машин и человеческий разум / Дж Вейценбаум; [пер. с англ. А. Л. Горелика]. – М.: Радио и связь, 1982. – 335 с.
158. Вениаминов В.Н. Микросхемы и их применение / В.Н. Вениаминов. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
159. Мартинюк Т.Б. Методи та засоби паралельних перетворень векторних масивів даних / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хом'юк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 203 с. – ISBN 966-641-114-8.
160. Martyniuk T. Relief Determination of Correlation Function in Image Processing / T. Martyniuk, A. Kozhemjako, M. Homchuk.// "Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ'96": III Всеукр. міжнар. наук.-техн. конф.: праці. – К. : Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, 1996. – С. 90-91. – ISBN 978-966-479-007-6.
161. Смирнов И.В., Дунин-Барковский Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. - 3-е изд.– М.: Наука, 1969.– 320 с.
162. Іванюта І.Д. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики / І.Д. Іванюка, В.І. Рибалка, І.А. Рудоміно-Дусятська. – К. : Слово, 2003. – 272 с. – ISBN 966-8407-01-6.
163. Ситник В.Ф. Імітаційне моделювання: навч. посібник / В.Ф. Ситник, Н.С. Орленко. – К. : КНЕУ, 1998. – 232 с. – ISBN 966-574-0210-0.
164. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М. : Техносфера, 2006. – 616 с. – ISBN 5-94836092-X.

165. Дьяконов В.П. MathCAD 7.0 в математике, физике и в Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – М.: Нолидж, 1999. – 245 с. – ISBN 5-89251-056-5.
166. Дьяконов В. MATLAB: учебный курс / Дьяконов В. – СПб: Питер, 2001. – 560 с. – ISBN 5-272-00276-8.
167. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. – ISBN 5-86404-135-1.
168. Капитанов В.Д. Проектирование цифровых устройств на микросхемах программируемой логики фирмы Xilinx / В.Д. Капитанов, В.Г. Мистюков // Scan Engineering Telecom. – 1999. – 7 с. – Режим доступа: http://www.scan.com/art_cp1d.pdf.
169. Комухаев Э. ПЛИС – альтернатива ASIC и DSP / Э. Комухаев // Электронные компоненты и системы. 2002. – №8. – С. 16-21.
170. Сынгаевский В.А. Система логического синтеза для PLD/CPLD-PLDesigner®-XL // Открытые системы. – 1997. – №1. – С. 7-15. – Режим доступа до журн.: <http://www.osp.ru/ap/1997/01/46.html>.
171. Стешенко В.С. Программируемые интегральные схемы: обзор архитектур и особенности применения / В.С. Стешенко // Основы схемотехники. – 2000. – № 1-2. – С. 22-24.
172. Общая характеристика СБИС, выпускаемых фирмой ALTERA – Режим доступа: <http://www.msclub.ce.cctpu.edu.ru/pld/Altera01.htm>.
173. Сравнение ресурсов CPLD производства фирм Altera и Xilinx – Режим доступа до сайту фирмы Altera : <http://www.altera.ru/cgi-bin/go?58>.
174. Комухаев Э. Современные тенденции развития ПЛИС и заказных БИС / Э. Комухаев // Электронные компоненты и системы. – 2004. – №4. – С. 16-21.
175. Зотов В.Ю. Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx в САПР WebPack ISE / В.Ю. Зотов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003. – 623 с. – ISBN 5-93517-136-8.
176. Кузелин М. О. Современные семейства ПЛИС фирмы Xilinx / М.О. Кузелин, Д.А. Кнышев, В.Ю. Зотов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004. – 440 с. – ISBN 5-93517-189-9.

177. Тарасов И.Е. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL / И.Е. Тарасов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 252 с. – ISBN 5-93517-242-9.
178. Алюшин М.В. Аппаратная реализация быстродействующих нейросетей на основе программируемой логики фирм AMD, ALTERA, XILINX / М.В. Алюшин // “Нейроинформатика-99”: Междунар. науч.-техн. конф.: труды. – М.: МИФИ. – 1999. – С. 18-24. – ISBN 5-7262-0311-9.
179. Суворова Е.А. Проектирование цифровых систем на VHDL / Е.А. Суворова, Ю.Е. Шейнин. – СПб.: БХВ-Петрбург, 2003. – 576 с. – ISBN 5-94157-189-5.
180. Поляков А.К. Языки VHDL и VERILIG в проектировании цифровой аппаратуры / А.К. Поляков. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 320с. – ISBN 5-98003-016-6.
181. Зотов В. САПР Foundation ISE фирмы / Зотов В. // Компьютерная неделя. – 2002. – №11(329). – Режим доступа до журн. : http://www.pcweek.ru/Year2002/N11/CP2151/Saprg/CAIP_Foundation_ISE_firmy_Xilinx.html.
182. Зотов В. WebPACK ISE: Интегрированная среда разработки конфигурации и программирования ПЛИС фирмы Xilinx / В. Зотов // Компоненты и технологии. – 2001. – № 7. – С. 54-61.
183. Акаев А.А. Некоторые принципы локальной записи микроголограмм на движущийся фототермопластический диск / А.А. Акаев, Б.Д. Абдрисаев, А.А. Кутанов. – Фрунзе: Ин-т физики АН Киргизской ССР, 1990. – 18 с. – (Препринт / АН Киргизской ССР, Ин-т физики).
184. Оптические процессоры. Элементная база – Режим доступа: <http://dims.karelia.ru/~avip/op/analog/baza/1.htm>.
185. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей: уч. пособ. / А.И. Галушкин – М.: Радиотехника, 2003. – 250 с. – ISBN 5-93108-07.
186. Пространственные модуляторы света / [А.А. Васильев, Д. Касасент, И.Н. Компанец, А.В. Парфенов]. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.

187. Нефф Дж.А. Двухмерные пространственные модуляторы света: тематический обзор / Дж.А. Нефф, Р.А. Атхале, С.Х. Ли // ГИИЭР. – 1990. – №5. – С. 78-89.
188. Sanford J. L. One-megapixel Reflective Spatial Light Modulator System For Holographic Storage / J. L. Sanford, P. F. Greier, K. H. Yang, M. Lu, R.S. Olyha, C. Narayan, J.A. Hoffnagle, P.M. Alt, R.L. Melcher // IBM Journal of Research and Development – 1998. – Vol.42, № 3/4. – P. 411-426.
189. Акаев А.А. Когерентные оптические вычислительные машины / А.А. Акаев, С.А. Майоров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 340 с.
190. Стоун Д. Будущее массовой памяти / Д. Стоун // PC Magazine. – 1997. - №3. – С. 182-194.
191. Holographic storage: a viable solution to the mass-storage requirements of multimedia computing – Режим доступа: <http://www.enteleky.com/holo-graphy/index.html>.
192. Inphase Technologies: what is holographic storage? Режим доступа: <http://www.inphase-tech.com>.
193. Гвозденко А.В. Голографическая память превращается в реальность / А.В. Гвозденко // Компьютерное обозрение. – 2002. – № 13. – С. 24-27.
194. Голографическая технология записи на диск : Оптические носители информации – Режим доступа до комп. форуму Ru.Board: <http://forum.ru-board.com/topic.cgi?forum=83&topic=0522>.
195. Макеев А.А. Голографическая память: перспектива 1 Тбайт / А.А. Макеев // Компьютерное обозрение. – 2006. – №50. – С. 66-68.
196. Future 10 Terabytes to 10 Petabytes and Beyond Rewritable Atomic Holographic Disk Drive nanoTechnology – Режим доступа: <http://colos-salstorage.net/colossal1.htm>.
197. Dixon D. Next-Gen Storage: Getting to Terabytes with Holographic Storage [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.manifest-tech.com/media_dvd/dvd_holo.htm.
198. 3D Holographic optical memory vs Lument Inphase holographic drive -- Режим доступа: <http://colossalstorage.net/com-parison.pdf>.

199. Inphase Technologies introduces the world's first holographic drive prototype – Режим доступа: <http://www.inphase-technologies.com/news/firstholopro-to.html>.
200. Бакаткин А.В. Создан прототип 300 Гбайт голографического диска – Режим доступа: <http://news.ferra.ru/hard/2005/12/01/53093/print>.
201. Markov V. Multilayer volume holographic optical memory / V. Markov, J. Millird, J. Trolinger, D. Timusin // Optics letters. – 1999. – Vol.24, № 4. – P. 265-267.
202. Orlov S.S. Volume holographic data storage / S.S. Orlov // Communication of the ACM. – 2000. – Vol.43, № 11. – P. 46-54.
203. Shelby R.M. Pixel-matched holographic data storage with megabit pages / R.M. Shelby, J.A. Hoffnagle, G.W. Burr, C.M. Jefferson, R.K. Grygier, G.T. Sincerbox // Optics letters. – 1997. – Vol.22, № 19. P. 1509-1511.

Наукове видання

**Васюра Анатолій Степанович
Мартинюк Тетяна Борисівна
Куперштейн Леонід Михайлович**

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НЕЙРОПОДІБНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено Л. Куперштейном

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

Підписано до друку 18.12.2008 р.
Формат 29,7×42 ¼ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 10,11
Наклад 100 прим. Зам. № 2008-157

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114
Тел. (0432) 59-81-32