
МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОФІ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

УДК 004.38

Т. Б. МАРТИНЮК, А. В. КОЖЕМ'ЯКО, Л. М. КУПЕРШТЕЙН

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. У роботі детально розглянуто основні тенденції розвитку сучасних комп'ютерних систем. Виділено такі важливі напрямки розвитку комп'ютерних систем, як інтелектуалізація, висока продуктивність і реальний час спрацювання. Наведено приклади вирішення поставлених завдань з використанням методу оброблення масивів даних за різницею зрізами.

Ключові слова: комп'ютерна система, інтелектуалізація, паралелізм, нейронні мережі, різницею зріз.

Анотация. В работе подробно рассмотрены основные тенденции развития современных компьютерных систем. Выделены такие важные направления развития компьютерных систем, как интеллектуализация, высокая производительность и реальное время срабатывания. Приведены примеры решения поставленных задач с использованием метода обработки массивов данных по разностным срезами.

Ключевые слова: компьютерная система, интеллектуализация, параллелизм, нейронные сети, разностный срез.

Abstract. In the article the basic tendencies of modern computer systems development are considered. The important directions of computer systems development are allocated. It is the intelligent, high performance and real time processing. Examples of solving the assigned tasks with the usage of method of data processing by the difference slices are showed.

Keyword: computer system, intelligent, parallelism, neural networks, the difference slice.

Прогрес у розвитку і вдосконаленні сучасних комп'ютерів і комп'ютерних систем пов'язаний, в першу чергу, з необхідністю їх переорієнтації на розв'язання задач, що потребують оброблення в реальному часі значних об'ємів взаємопов'язаної неоднорідної інформації [1, 2], а по-друге, зумовлений успіхами в області нанотехнологій та їх широким застосуванням [3—6]. Забезпечення високого рівня паралелізму при обробленні великих об'ємів інформації, яка відрізняється за формою і способом подання (візуальна, аудіо-, телеінформація, біосигнали тощо), є необхідною умовою при розв'язанні таких важливих задач, як розпізнавання, ідентифікація, розуміння сенсу, побудова логічних ланцюжків, моделювання зовнішніх середовищ, створення гіпотез, розробка стратегій поведінки [2]. Отже, перспективним напрямком розвитку обчислювальної техніки на сьогоднішньому його етапі є створення комп'ютерних систем, які використовують принципи, аналогічні принципам оброблення інформації людиною, тобто принципи, що відповідають його взаємодії із зовнішнім середовищем [1, 3, 7—9].

Тому перспективним у найближчому майбутньому вважається вдосконалення та інтенсивне впровадження у практичних застосуваннях нейротехнологій [10—15], а також їх симбіоз з елементами нечітких множин у вигляді гібридних нейросистем [16, 17]. Такі штучні нейронні мережі (ШНМ) набули статус одного з базових архітектурних принципів побудови ЕОМ шостого покоління, тобто створення адаптивної еволюціонуючої ЕОМ [15, 18]. З огляду сучасних публікацій до основних перспективних напрямків розвитку нейроінформаційних технологій можна віднести: оброблення, аналіз і розпізнавання сигналів і зображень, нейромережні експертні системи, СУБД з використанням нейромережних алгоритмів, управління динамічними системами, фінансовою діяльністю тощо [15, 18—22].

Отже, головним об'єднуючим фактором усіх сучасних напрямків у розвитку комп'ютерних систем є їх інтелектуалізація, надання їм властивостей мислення і сприйняття людини [23—29]. З огляду

на це головними особливостями ШНМ, які дозволяють у певній мірі імітувати властивості біологічних нейромереж, необхідно визначити: паралелізм оброблення інформації, здатність до навчання, асоціативність, здатність до автоматичної класифікації, надійність [30—34]. Разом з тим необхідно відзначити, що жодна з існуючих моделей ШНМ, що призначені для розв'язання задач з області розпізнавання образів, не використовує механізмів біологічних нейромереж [23, 24].

У зв'язку з цим, актуальним є створення комп'ютерних систем з нетрадиційною архітектурою, що дозволить обробляти і розпізнавати символну інформацію, а також виконувати інші асоціативно-логічні операції, що властиві системам штучного інтелекту, з ефективністю, що характерна для виконання обчислювальних операцій сучасними комп'ютерними системами [35, 36]. Звідси випливає, що комп'ютери нового покоління повинні будуватись на множині обчислювачів, що організовані у складну мережу, аналогом якої є нейромережі мозку людини [18, 22]. При цьому можливим є дотримання аналогічних до нейромереж умов, а саме обчислювальні елементи не обов'язково повинні бути швидкісними, але мережа повинна мати змінну структуру, функціонування якої залежить від структури вхідної інформації [35].

Отже, важливими напрямками сучасного розвитку комп'ютерних систем є інтелектуалізація, висока продуктивність та досягнення реального часу спрацювання при вирішенні сучасних прикладних задач з необхідністю оброблення великих об'ємів інформації (рис. 1).

Процес розвитку ЕОМ супроводжується вирішенням проблеми продуктивності у двох напрямках: вдосконаленням інтегральної технології та розпаралелюванням процесу оброблення інформації [36]. Разом з тим, існує протиріччя між зростаючим рівнем інтегральних технологій елементної бази і низьким рівнем інтеграції обчислювального процесу [36].

Більше того, неможливо забезпечити високі темпи зростання обчислювальної потужності тільки за рахунок вдосконалення інтегральної технології з виходом на глибокосубмікронні напівпровідникові технології [35—37], оскільки продуктивність комп'ютерних систем і компонентів не знаходиться у прямо пропорційній залежності від кількості транзисторів на кристалі [36, 38]. Тут необхідні нові архітектурно-структурні та схемотехнічні рішення, а також нові обчислювальні методи, що забезпечуть ефективне використання кристалів з 10—100 млн. транзисторів з виходом на петафлопсну (10^{15} операцій з плаваючої комою в сек.) продуктивність комп'ютерних систем [35, 36]. З іншого боку, ефективність розпаралелювання обчислень визначається у багатьох випадках не кількістю паралельно функціонуючих процесорів, а методом ефективної організації обчислювального процесу, архітектурою пам'яті і параметрами комунікаційного середовища [36].

На даний час визначено декілька базових принципів побудови високопродуктивних обчислювачів. Це, по-перше, паралелізм і конвеєрність обчислень, по-друге, ієрархічна структура пам'яті, по-третє, ефективні комунікаційні мережі [39]. При цьому необхідно реалізувати по можливості максимально принцип адекватності архітектури до характеру обчислювальних задач [36, 38, 39]. До таких архітектур відносять векторні, матричні, суперскалярні, керовані потоком даних, інтелектуальну пам'ять з прямим доступом тощо [36, 38], на базі яких будуються такі суперсистеми, як векторні, мультипроцесорні системи, системи з масовим паралелізмом, розподілені обчислювальні системи тощо [36, 39].

В роботі [36] визначено декілька напрямків зі створення нового підходу до організації обчислювального процесу:

- високий рівень розпаралелювання на всіх рівнях оброблення даних;
- конвеєрний принцип оброблення даних;
- організація внутрішньої мови високого рівня з апаратною підтримкою;
- підвищення регулярності апаратних реалізацій, наприклад, за рахунок використання систолічних структур;
- використання запам'ятовуючого середовища з багатоканальним доступом;
- перехід до універсальної матрично — алгебраїчної системи замість алгебри дійсних чисел;
- апаратна реалізація базових операцій в обчислювальних процедурах.

Отже, для побудови ефективних архітектур обчислювальних засобів необхідною умовою є використання трьох базових принципів [36, 38]:

- паралелізм оброблення;
- програмованість структури;
- регулярність (однорідність) структури.

Такий підхід (рис. 1) забезпечується поєднанням принципів конвеєризації, векторної та матричної програмно-апаратної організації обчислень на базі новітніх технологій елементної бази (ПЛІС, фотонні кристали, оптоелектронні ІС на матрицях смарт-пікселів). Наведені три принципи відповідають задачі адекватного відображення просторово-часової алгоритмічної структури обчислювальних процесів на архітектуру паралельних обчислювачів [39, 40].

Не тільки для обчислювальних засобів, але й для цифрових систем комутації і систем керування, що працюють в реальному часі, необхідною умовою високої продуктивності є використання різних методів паралельного оброблення даних, серед яких визначають два основних [39, 41]:

— метод глобально-паралельного оброблення, при якому суміщається виконання незалежних операцій алгоритмів і тим забезпечується скорочення часу виконання алгоритмів;

— метод конвеєрного оброблення, який забезпечує скорочення часу виконання алгоритмів за рахунок часткового часового суміщення різних етапів процесу реалізації алгоритмів.

Одним з найбільш розповсюджених є також метод локально-паралельного оброблення даних, який забезпечує скорочення часу реалізації алгоритмів за рахунок зменшення часу виконання операцій при збільшенні розрядності операндів, що обробляються [41].

Розширений варіант використання наведених трьох базових принципів для паралельних обчислювачів з орієнтацією на новітні розробки в області елементної бази наведено в монографії [40], де сформульовано основні вимоги до спецпроцесорів таким чином:

— регулярність та модульність алгоритмічної структури спецпроцесора, тобто локальна однотипність операцій і зв'язків, що визначається вимогою однорідності структури;

— векторно-конвеєрна організація обчислень, що забезпечує високу швидкодію та ефективність спецпроцесорів;

— близькість зв'язків для забезпечення локальності зв'язків між елементами у структурі;

— двовимірність реалізації алгоритмів, що відповідає вимозі планарності фізичної реалізації спецпроцесорів;

— забезпечення «оптимального балансу» можливостей інтерфейсу введення-виведення спецпроцесора з його обчислювальними можливостями.

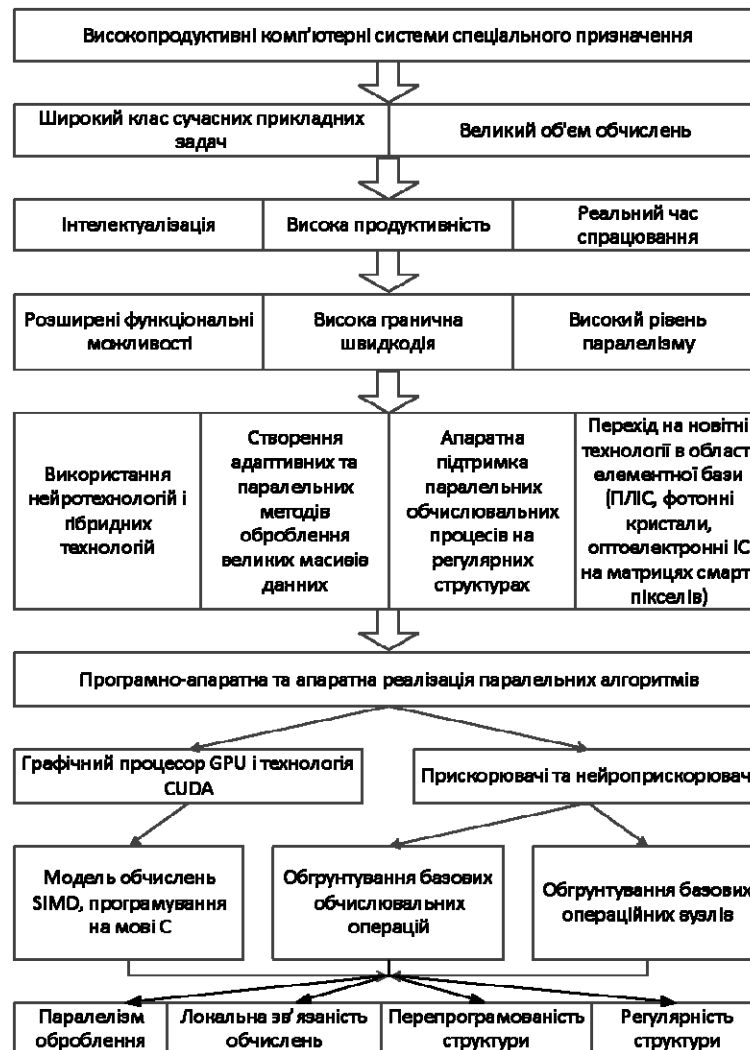


Рис. 1. Тенденції сучасних комп'ютерних систем

В монографії [42] наведено основні напрямки вдосконалення комп'ютерних систем на схемотехнічному та архітектурному рівнях, серед яких, крім вже наведених у [40], варто виділити на схемотехнічному рівні апаратну реалізацію базових перетворень і базових операцій алгоритмів, а на архітектурному рівні — децентралізацію обчислень разом з розширеним використанням паралельного та конвейсного оброблення даних.

Такий підхід у повній мірі реалізовано на графічних процесорах GPU (Graphic Processing Unit) з використанням технології CUDA (Computer Unified Device Architecture) [43—45]. Використання GPU і технології CUDA дозволяє досягти значних обчислювальних потужностей для розв'язання практичних задач у реальному часі. До переваг технології CUDA можна віднести доступність, простоту (програмування на розширеній мові C), а також використання спеціальних можливостей GPU [44].

Про перспективність використання технології CUDA свідчить моделювання на цій технології оброблення потоку даних для штучних нейромереж [45]. Разом з тим, особливістю використання технології масових паралельних обчислень CUDA є наявність обмежень, а саме, необхідно, щоб обчислення у задачі ефективно реалізовувались моделлю SIMD (одна команда для багатьох даних) [43].

Однією з альтернатив програмно-апаратній реалізації паралельних алгоритмів, які представляє технологія CUDA, є апаратна реалізація паралельних алгоритмів на прискорювачах (спецпроцесорах) [40, 42] і нейроприскорювачах [10, 12—15, 18]. Але в цьому випадку, враховуючи спеціальне призначення прискорювачів і нейроприскорювачів як засобів апаратної підтримки паралельних обчислювальних процесів на регулярних структурах, обов'язковим є обґрунтування базових обчислювальних операцій і базових операційних вузлів [36, 40, 42]. Для наочності на рис. 1 наведено структурний аналіз тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних систем і багаторівневі шляхи їх реалізації.

На сьогоднішній день значні досягнення в області інформаційних технологій, які пов'язані, в першу чергу, з використанням нейротехнологій, теорії нечітких множин та їх симбіозу, нанотехнологій та інтегральної оптоелектроніки, дозволити впритул підійти до підвищення рівня інтелектуалізації та збільшення продуктивності комп'ютерних систем.

Разом з тим, науково-прикладною проблемою залишається необхідність забезпечення у комплексі високого рівня паралелізму та багатофункціональності процесів оброблення масивів даних та їх адекватного відображення у паралельні архітектури обчислювальних засобів для інтелектуальних систем. Один із прикладів вирішення вказаної проблеми є концепція різницево-зрізового оброблення одно- та двовимірних масивів даних [46, 47]. Базові положення оброблення за різницевиими зрізами використано як для одновимірних масивів даних при моделюванні порогового нейрона [48, 49], так і для двовимірних масивів даних при класифікації біомедичних даних за дискримінантними функціями [50—52].

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасних тенденцій розвитку комп'ютерних систем підтвердив актуальність створення інтелектуальних систем з нетрадиційною архітектурою, здатних обробляти, аналізувати та розпізнавати символну інформацію, що властиве для систем зі штучним інтелектом, а також з продуктивністю не менше, ніж у сучасних комп'ютерних системах.

При цьому для побудови ефективних архітектур засобів для інтелектуальних систем необхідною умовою є використання таких базових принципів, як паралелізм оброблення, локальна зв'язність обчислень, програмованість та регулярність структури, які відповідають задачі ефективного відображення просторово-часової алгоритмічної структури паралельних обчислювальних процесів на архітектурі паралельних обчислювачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мейтус В. Ю. Интеллектуальные компоненты в системах управления производством / В. Ю. Мейтус // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 3. — С. 29—44. — ISSN 0023-1274.
2. Мейтус В. Ю. К проблеме создания образного компьютера / В. Ю. Мейтус // Кибернетика и системный анализ. — 2004. — № 6. — С. 29—44. — ISSN 0023-1274.
3. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту / В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свечніков, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. — Вінниця : УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2003. — 324 с.
4. Osinsky V. I. Information conception of image perceptron at solid-state lighting / V. I. Osinsky // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. — 2007. — V. 10, № 3. — P. 30—43.
5. Шмойлов В. И. Пульсирующие информационные решётки с матричной коммутацией / В. И. Шмойлов, Б. П. Русын, М. Н. Кузьо // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні

- технології. — 2003. — № 1—2(5—6). — С. 55—73. — ISSN 1681-7893.
6. Морозов В. І. Моделювання сигналів в нанопристроях з фрактальною структурою / В. І. Морозов, І. В. Морозов // Теорія та методи обробки сигналів: Друга міжнар. наук. конф., 20—22 травня 2008 р. : тези доп. — К., 2008. — С. 92—93.
 7. Попов М. А. Нейротехническая модель системы для автоматической классификации объектов / М. А. Попов, В. В. Бескровный // Нейросетевые технологии и нейрокомпьютеры: сб. науч. тр. / НАН Украины. Институт кибернетики им. В. М. Глушкова. — К., 1994. — С. 71—78.
 8. Фу К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли; пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 624 с.
 9. Попов М. Організація функціонального просторового середовища для вирішення завдань розпізнавання об'єктів / М. Попов, В. Бескровний // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів (УкрОБРАЗ'94): Друга Всеукр. міжнар. конф., 20—24 грудня 1994 р.: праці. — К., 1994. — С. 109—112.
 10. Васюра А. С. Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування / А. С. Васюра, Т. Б. Мартинюк, Л. М. Куперштейн. Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2008. — 175 с.
 11. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника : Теория и практика / Ф. Уоссермен; пер. с англ. — М. : Мир, 1992. — 240 с.
 12. Хехт-Нильсен Р. Нейрокомпьютинг: история, состояние, перспективы / Р. Хехт-Нильсен // Открытые системы. — 1998. — № 4. — Режим доступа : <http://www.osp.ru/os/2001/05-06/017.htm>
 13. Логовский А. С. Нейропакеты: что, где, зачем / А. С. Логовский, Д. Ж. Якушев // Зарубежная радиоэлектроника. — 1997. — № 2. — С. 11—18. — ISSN 0373-2428.
 14. Галушкин А. И. Некоторые исторические аспекты развития элементной базы вычислительных систем с массовым параллелизмом (80- и 90-е годы) / А. И. Галушкин // Нейрокомпьютер. — 2000. — № 1. — С. 68—82.
 15. Комашинский В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В. И. Комашинский, Д. А. Смирнов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2003. — 94 с. — ISBN 5-93517-094-9.
 16. Круглов В. В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети: учеб. пособие / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М. : Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2001. — 224 с.
 17. Усков А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика / А. А. Усков, А. В. Кузьмин. — М. : Горячая линия-Телеком, 2001. — 143 с. — ISBN 5-93517-181-3.
 18. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры. Кн. 3: учеб. пособие для вузов / общ. ред. А. И. Галушкина. — М. : ИПРЖР, 2000. — 528 с. (Нейрокомпьютеры и их применение). — ISBN 5-93108-007-4.
 19. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс / С. Хайкин; пер. с англ. — 2-е изд. — М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2006. — 1104 с. — ISBN 5-8459-0890-6.
 20. Комарцова Л. Г. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие для вузов / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 320 с. — ISBN 5-7038-1908-3.
 21. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. — 2-е изд. — М. : Горячая линия-Телеком, 2002. — 382 с. — ISBN 5-93517-031-0.
 22. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 344 с. — ISBN 5-279-02567-4.
 23. Гольцев А. О. Нейронные сети с ансамблевой организацией / А. О. Гольцев. — К. : Наук. думка, 2005. — 200 с. — ISBN 966-00-0520-2.
 24. Кожем'яко В. П. Погляд на природу штучного інтелекту / В. П. Кожем'яко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1997. — № 1. — С. 26—30. — ISSN 1997-9266.
 25. Рабинович З. Л. О механизмах мышления и интеллектуальных ЭВМ / З. Л. Рабинович // Кибернетика и системный анализ — 1993. — № 3. — С. 69—78. — ISSN 0023-1274.
 26. Рабинович З. Л. О концепции машинного интеллекта и её развитии / З. Л. Рабинович // Кибернетика и системный анализ. — 1995. — № 2. — С. 163—173. — ISSN 0023-1274.
 27. Рабинович З. Л. О естественных механизмах мышления и интеллектуализации ЭВМ / З. Л. Рабинович // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 5. — С. 82—88. —

- ISSN 0023-1274.
28. Капитонова Ю. В. О некоторых тенденциях развития и проблемах искусственного интеллекта / Ю. В. Капитонова, В. И. Скурихин // Кибернетика и системный анализ. — 1999. — № 1. — С. 43—55. — ISSN 0023-1274.
 29. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціальних моделей образного комп'ютера / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 161 с. — ISBN 966-641-142-3.
 30. Кожем'яко В. П. Наукова концепція образного відео-комп'ютера око-процесорного типу в контексті сучасної методології штучного інтелекту / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2001. — № 2. — С. 84—89. — ISSN 1681-7893.
 31. Куссуль Э. М. Ассоциативные нейроподобные структуры / Э. М. Куссуль. — К. : Наук. думка, 1992. — 144 с.
 32. Хьюбел Д. Х. Глаз, мозг, зрение / Д. Х. Хьюбел; пер. с англ. — М. : Мир, 1990. — 239 с.
 33. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы; под ред. Н. М. Амосова. — К. : Наук. думка, 1994. — 272 с.
 34. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение / А. Роуз; пер. с англ. А.А. Гиппиуса. — М. : Мир, 1977. — 261 с.
 35. Ященко В. А. Компьютерные технологии в новом тысячелетии / В. А. Ященко // Математичні машини і системи. — 2000. — № 2, 3. — С. 3—15. — ISSN 1028-9763.
 36. Палагин А. В. Системная интеграция средств компьютерной техники / А. В. Палагин, Ю. С. Яковлев. — Вінниця : УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2005. — 680 с. — ISBN 966-641-140-7.
 37. Настасенко В. А. Основы концепции определения предельного быстродействия компьютерных систем искусственного интеллекта / В. А. Настасенко, Е. В. Настасенко // Штучний інтелект. — 2008. — № 4. — С. 25—30. — ISSN 1561-5359.
 38. Митропольский Ю. И. Суперкомпьютеры и микропроцессоры. Приоритеты исследований и разработок / Ю. И. Митропольский // Электроника : Наука. Технология. Бизнес. — 2000. — № 2. — С. 18—21. — ISSN 1992-4178.
 39. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. — СПб. : БХВ-Петербург, 2004. — 608 с. — ISBN 5-94157-160-7.
 40. Царев А. П. Алгоритмические модели и структуры высокопроизводительных процессоров цифровой обработки сигналов / А. П. Царев. — Szczecin, Informa, 2000. — 237 с. — ISBN 83-87362-34-4.
 41. Поляков Г. А. Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления / Г. А. Поляков, Ю. Д. Умрихин. — М. : Радио и связь, 1988. — 304 с. — ISBN 5-256-00108-6.
 42. Цмоць І. Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі / І. Г. Цмоць. — Львів, 2005. — 228 с. — ISBN 966-322-024-4.
 43. Боресков А. В. Основы работы с технологией CUDA / А. В. Боресков, А. А. Харламов. — М. : ДМК-Пресс, 2010. — 232 с.
 44. Андон Ф. И. Программирование высокопроизводительных параллельных вычислений: формальные модели и графические ускорители / Ф. И. Андон, А. Е. Дорошенко, К. А. Жереб // Кибернетика и системный анализ. — 2011. — № 4. — С. 176—187. — ISSN 0023-1274.
 45. Колбасин В. А. Использование технологии CUDA для ускорения обработки потока данных искусственными нейронными сетями / В. А. Колбасин // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): I Міжнар. наук.-техн. конф., 10—13 травня 2011 р.: матеріали. — Черкаси: Маклаут, 2011. — С. 97. — ISBN 978-966-2200-11-9.
 46. Timchenko L. I., Martyniuk T. B., Zagoruyko L. V. Approach to organization of the multistage scheme of systolic calculations. Engineering Simulation, 1999, vol. 16, pp. 581—590.
 47. Martyniuk T. B., Khomyuk, V. V. Data array multiprocessing by difference slices. Cybernetics and Systems Analysis, 2011, vol. 46, No7, pp. 948—953.
 48. Martyniuk T. B. A threshold neuron model based on the processing of difference slices. Cybernetics and Systems Analysis, 2005, vol. 41, No4, pp. 541—550.
 49. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Edukacja-Technika-Informatyka, 2013, vol.4(2), pp. 366—371.
 50. Мартынюк Т. Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т. Б. Мартынюк, А. Г. Буда, В. В. Хомюк, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн // Искусственный интеллект. — 2010. —

№ 3. — С. 88—95. — ISSN 1561-5339.

51. Martyniuk T. B., Kupershtein L. M., Medvid A. V., Kozhemiako A. V. et al. Applications of discriminant analysis methods in medical diagnostics. *Optical Fibers and Their Applications 2012. Proceedings of the SPIE, Volume 8698, article id. 86980G, 4 pp. (2013). DOI: 10.1117/12.2019733*
52. Martyniuk T. B., Kozhemiako A. V., Kupershtein L. M. Formalization of the Object Classification Algorithm. *Cybernetics and Systems Analysis, 2015, vol. 51, No5, pp. 751—756. doi:10.1007/s10559-015-9767-0*

REFERENCES

1. Meytus V. YU. Intel'ektual'nyye komponenty v sistemakh upravleniya proizvodstvom / V. YU. Meytus // *Kibernetika i sistemnyy analiz. — 2003. — № 3. — S. 29-44. — ISSN 0023-1274.*
2. Meytus V. YU. K probleme sozdaniya obraznogo komp'yutera / V. YU. Meytus // *Kibernetika i sistemnyy analiz. — 2004. — № 6. — S. 29—44. — ISSN 0023-1274.*
3. Kozhem'yako V. P. Paralel'no-iérarkhichne peretvorenniya yak sistemna model' optiko-yelektronnikh zasobiv shtuchnogo íntelektu / V. P. Kozhem'yako, YU. F. Kutaêv, S. V. Svêchnikov, L. Í. Timchenko, A. A. Yaroviy. — Vînnitsya : UNÍVERSUM-Vînnitsya, 2003. — 324 s.
4. Osinsky V. I. Information conception of image perceptron at solid-state lighting / V. I. Osinsky // *Semiconductor Phisics, Quantum Electronics & Optoelectronics. — 2007. — V. 10, № 3. — R. 30—43.*
5. Shmoylov V. I. Pul'siruyushchiye informatsionnyye reshotki s matrichnoy kommutatsiyey / V. I. Shmoylov, B. P. Rusyn, M. N. Kuz'o // *Optiko-yelektronni ínformatsiyno-yenergetichni tekhnologii. — 2003. — № 1—2(5—6). — S. 55—73. — ISSN 1681-7893.*
6. Morozov V. Í. Modelyuvannya signaliv v nanopristroyakh z fraktal'noyu strukturoyu / V. Í. Morozov, Í. V. Morozov // *Teoriya ta metodi obrobki signaliv : Druga mízhnar. nauk. konf., 20—22 travnya 2008 r. : tezi dop. — K., 2008. — S. 92—93.*
7. Popov M. A. Neyrotekhnicheskaya model' sistemy dlya avtomaticheskoy klassifikatsii ob'yektov / M. A. Popov, V. V. Beskrovnyy // *Neyrosetevyye tekhnologii i neyrokomp'yutery: sb. nauch. tr. / NAN Ukrainy. Institut kibernetiki im. V. M. Glushkova. — K., 1994. — S. 71—78.*
8. Fu K. Robototekhnika / K. Fu, R. Gonsales, K. Li; per. s angl. — M : Mir, 1989. — 624 s.
9. Popov M. Organizatsiya funktsional'nogo prostorovogo seredovishcha dlya virishennya zavdan' rozpínavannya ob'èktiv / M. Popov, V. Bezkrvniy // *Obrobka signaliv í zobrazhen' ta rozpínavannya obraziv (UkrOBRAZ'94): Druga Vseukr. mízhnar. konf., 20—24 grudnya 1994 r.: pratsi. — K., 1994. — S. 109—112.*
10. Vasyura A. S. Metodi ta zasobi neyropodibnoï obrobki danikh dlya sistem keruvannya / A. S. Vasyura, T. B. Martinyuk, L. M. Kupershteyn. Monografiya. — Vînnitsya: UNÍVERSUM-Vînnitsya, 2008. — 175 s.
11. Uossermen F. Neyrokomp'yuternaya tekhnika: Teoriya i praktika / F. Uossermen; per. s angl. — M. : Mir, 1992. — 240 s.
12. Khekht-Nil'sen R. Neyrokomp'yuting: istoriya, sostoyaniye, perspektivy / R. Khekht-Nil'sen // *Otkrytyye sistemy. — 1998. — № 4. — Rezhim dostupu: <http://www.osp.ru/os/2001/05-06/017.htm>*
13. Logovskiy A. S. Neyropakety: chto, gde, zachem / A. S. Logovskiy, D.ZH. Yakushev // *Zarubezhnyaradioelektronika. — 1997. — № 2. — S. 11—18. — ISSN 0373-2428.*
14. Galushkin A. I. Nekotoryye istoricheskiye aspekty razvitiya elementnoy bazy vychislitel'nykh sistem s massovym parallelizmom (80- i 90-ye gody) / A.I. Galushkin // *Neyrokomp'yuter. — 2000. — № 1. — S. 68—82.*
15. Komashinskiy V. I. Neyronnyye seti i ikh primeneniye v sistemakh upravleniya i svyazi / V. I. Komashinskiy, D. A. Smirnov. — M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2003. — 94 s. — ISBN 5-93517- 094-9.
16. Kruglov V. V. Nechotkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti: ucheb. posobiye / V. V. Kruglov, M.I. Dli, R.YU. Golunov. — M. : Izd-vo fiz.-mat. lit-ry, 2001. — 224 s.
17. Uskov A. A. Intel'ektual'nyye tekhnologii upravleniya. Iskusstvennyye neyronnyye seti i nechotkaya logika / A. A. Uskov, A. V. Kuz'min. — M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2001. — 143 s. — ISBN 5-93517-181-3.
18. Galushkin A. I. Neyrokomp'yutery. Kn. 3: ucheb. posobiye dlya vuzov / obshch. red.

- A. I. Galushkina. — M. : IPRZHR, 2000. — 528 s. (Neyrokompyutery i ikh primeneniye). — ISBN 5-93108-007-4.
19. Khaykin S. Neyronnyye seti: Polnyy kurs / S. Khaykin; per. s angl. — 2-ye izd. — M. : OOO " I. D. Vil'yams " 2006. — 1104 s. — ISBN 5-8459-0890-6.
 20. Komartsova L. G. Neyrokompyutery: ucheb. posobiye dlya vuzov / L. G. Komartsova, A. V. Maksimov. — M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2002. — 320 s. — ISBN 5-7038-1908-3.
 21. Kruglov V. V. Iskusstvennyye neyronnyye seti. Teoriya i praktika / V. V. Kruglov, V. V. Borisov. — 2-ye izd. — M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2002. — 382 s. — ISBN 5-93517-031-0.
 22. Osovskiy S. Neyronnyye seti dlya obrabotki informatsii / S. Osovskiy; per. s pol'sk. I. D. Rudinskogo. — M. : Finansy i statistika, 2004. — 344 s. — ISBN 5-279-02567-4.
 23. Gol'tsev A. O. Neyronnyye seti s ansamblevoy organizatsiyey / A. O. Gol'tsev. — K. : Nauk. dumka, 2005. — 200 s. — ISBN 966-00-0520-2.
 24. Kozhem'yako V. P. Poglyad na prirodu shtuchnogo íntelektu / V. P. Kozhem'yako // VísnikVinnits'kogo polítekhničnogo ínstitutu. — 1997. — № 1. — С. 26—30. — ISSN 1997-9266.
 25. Rabinovich Z. L. O mekhanizмах myshleniya i intellektual'nykh EVM / Z. L. Rabinovich // Kibernetika i sistemnyy analiz — 1993. — № 3. — S. 69—78. — ISSN 0023-1274.
 26. Rabinovich Z. L. O kontseptsii mashinnogo intellekta i yeyo razvitii / Z.L. Rabinovich// Kibernetika i sistemnyy analiz. — 1995. — № 2. — S. 163—173. — ISSN 0023-1274.
 27. Rabinovich Z. L. O yestestvennykh mekhanizмах myshleniya i intellektualizatsii EVM/ Z. L. Rabinovich // Kibernetika i sistemnyy analiz. — 2003. — № 5. — S. 82—88. — ISSN 0023-1274.
 28. Kapitonova YU. V. O nekotorykh tendentsiyakh razvitiya i problemakh iskusstvennogo intellekta/ YU. V. Kapitonova, V. I. Skurikhin // Kibernetika i sistemnyy analiz. — 1999. — № 1. — S. 43—55. — ISSN 0023-1274.
 29. Kozhem'yako V. P. Paralel'no-íêrarkhični merezhí yak strukturno-funktsional'niy bazis dlyapobudovi spetsial'nikh modeley obraznogo komp'yutera / V. P. Kozhem'yako, L. Í. Timchenko, A. A. Yaroviy. —Vínnitsya : UNÍVERSUM—Vínnitsya, 2005. — 161 s. — ISBN 966-641-142-3.
 30. Kozhem'yako V. P. Naukova kontseptsíya obraznogo vídeo-komp'yutera oko-protsesornogo tipu vkontekstí suchasnoí metodologíi shtuchnogo íntelektu / V. P. Kozhem'yako, A. A. Yaroviy // Optiko-yelektronniínformatsíyno-yenergetiční tekhnologíi. — 2001. — № 2. — S. 84—89. — ISSN 1681-7893.
 31. Kussul' E.M. Assotsiativnyye neyropodobnyye struktury / E.M. Kussul'. — K.: Nauk. dumka, 1992. — 144 s.
 32. KH'yubel D. KH. Glaz, mozg, zreniye / D.KH. KH'yubel; per. s angl. — M. : Mir, 1990. — 239 s.
 33. Neyrokompyutery i intellektual'nyye roboty; pod red. N. M. Amosova. — K. : Nauk. dumka, 1994. — 272 s.
 34. Rouz A. Zreniye cheloveka i elektronnoye zreniye / A. Rouz; per. s angl. A. A. Gippiusa. — M.: Mir, 1977. — 261 s.
 35. Yashchenko V. A. Komp'yuternyye tekhnologii v novom tysyacheletii / V. A. Yashchenko // Matematichnimashini i sistemi. — 2000. — № 2, 3. — S. 3—15. — ISSN 1028-9763.
 36. Palagin A. V. Sistemnaya integratsiya sredstv komp'yuternoy tekhniki / A. V. Palagin, YU. S. Yakovlev. — Vínnitsya : UNÍVERSUM-Vínnitsya, 2005. — 680 s. — ISBN 966-641-140-7.
 37. Nastasenko V. A. Osnovy kontseptsii opredeleniya predel'nogo bystrodeystviya komp'yuternykh sistem iskusstvennogo intellekta / V. A. Nastasenko, Ye. V. Nastasenko // Shtuchniy íntelekt. — 2008. — № 4. — S. 25—30. — ISSN 1561-5359.
 38. Mitropol'skiy YU. I. Superkomp'yutery i mikroprotsestory. Prioritety issledovaniy i razrabotok / YU. I. Mitropol'skiy // Elektronika: Nauka. Tekhnologiya. Biznes. — 2000. — № 2. — S. 18—21. —ISSN 1992-4178.
 39. Voyevodin V. V. Parallel'nyye vychisleniya / V. V. Voyevodin, VI. V. Voyevodin. — SPb.: BKHV-Peterburg, 2004. — 608 s. — ISBN 5-94157-160-7.
 40. Tsarev A. P. Algoritmicheskiye modeli i struktury vysokoproizvoditel'nykh protsestorov tsifrovoy obrabotki signalov / A.P. Tsarev. — Szczecin, Informa, 2000. — 237 s. — ISBN 83-87362-34-4.

41. Polyakov G. A. Avtomatizatsiya proyektirovaniya slozhnykh tsifrovyykh sistem kommutatsii upravleniya / G. A. Polyakov, YU. D. Umrikhin. — M. : Radio i svyaz', 1988. — 304 s. — ISBN 5-256- 00108-6.
42. Tsmots' Í. G. Ínformatsiyni tekhnologii ta spetsializovani zasobi obrobki signaliv i zobrazen' ureal'nomu chasi / Í. G. Tsmots'. — L'viv, 2005. — 228 s. — ISBN 966-322- 024-4.
43. Boreskov A. V. Osnovy raboty s tekhnologiyey CUDA / A. V. Boreskov, A. A. Kharlamov. — M. : DMK-Press, 2010. — 232 s.
44. Andon F. I. Programmirovaniye vysokoproizvoditel'nykh parallel'nykh vychisleniy: formal'nyye modeli i graficheskiye uskoriteli / F. I. Andon, A. Ye. Doroshenko, K. A. Zhreb// Kibernetika i sistemnyy analiz. — 2011. — № 4. — S. 176—187. — ISSN 0023-1274.
45. Kolbasin V. A. Ispol'zovaniye tekhnologii CUDA dlya uskoreniya obrabotki potoka dannykhiskusstvennyymi neyronnymi setyami / V. A. Kolbasin // Obchislyuval'niy íntelekt (rezul'tati, problemi, perspektivi): Í Mízhnar. nauk.-tekhn. konf., 10—13 travnya 2011 r.: materialy. — Cherkasi: Maklout, 2011. — S. 97. — ISBN 978-966- 2200-11- 9.
46. Timchenko L. I., Martyniuk T. B., Zagoruyko L. V. Approach to organization of the multistage scheme of systolic calculations. Engineering Simulation, 1999, vol. 16, pp. 581—590.
47. Martyniuk T. B., Khomyuk, V. V. Data array multiprocessing by difference slices. Cybernetics and Systems Analysis, 2011, vol. 46, No7, pp. 948—953.
48. Martyniuk T. B. A threshold neuron model based on the processing of difference slices. Cybernetics and Systems Analysis, 2005, vol. 41, No4, pp. 541—550.
49. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Edukacija-Technika- Informatyka, 2013, vol.4(2), pp. 366—371.
50. Martyniuk T. B. Klassifikator biomeditsinskikh signalov / T. B. Martyniuk, A. G. Buda, V. V. Khomyuk, A. V. Kozhemyako, L. M. Kupershteyn // Iskusstvennyy intellekt. — 2010. — № 3. — С. 88—95. — ISSN 1561-5339.
51. Martyniuk T. B., Kupershtein L. M., Medvid A. V., Kozhemiako A. V. et al. Applications of discriminant analysis methods in medical diagnostics. Optical Fibers and Their Applications 2012. Proceedings of the SPIE, Volume 8698, article id. 86980G, 4 pp. (2013). DOI: 10.1117/12.2019733
52. Martyniuk T. B., Kozhemiako A. V., Kupershtein L. M. Formalization of the Object Classification Algorithm. Cybernetics and Systems Analysis, 2015, vol. 51, No5, pp. 751—756. doi:10.1007/s10559-015- 9767-0

Надійшла до редакції 15.11.2016 р.

МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА — д.т.н., проф. кафедри лазерної та оптико-електронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ — к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптико-електронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КУПЕРШТЕЙН ЛЕОНІД МИХАЙЛОВИЧ — к.т.н., доцент кафедри захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.