

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А. А. Яровий

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОРГАНІЗАЦІЇ
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ
ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ
ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК 004.2:004.93:681.3

ББК 32.971.321.1

Я76

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 30.11.2015 р.)

Рецензенти:

Ю. К. Зіатдінов, доктор технічних наук, професор

І. Г. Цмоць, доктор технічних наук, професор

Яровий, А. А.

Я76 Методи та засоби організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою : монографія / А. А. Яровий. — Вінниця : ВНТУ, 2016. – 363 с.

ISBN 978-966-641-681-3

В монографії розглянуто питання побудови спеціалізованих високопродуктивних обчислювальних систем. Розроблено теоретичні основи організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою на базі запропонованої концепції багаторівневого паралельно-ієрархічного перетворення інформації. Розроблено моделі, структурну та архітектурну організацію високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем, які орієнтовані на використання сучасних GPGPU технологій.

УДК 004.2:004.93:681.3

ББК 32.971.321.1

ISBN 978-966-641-681-3

© А. Яровий, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ І ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ	16
1.1 Аналіз принципів природного та штучного паралелізму	16
1.2 Аналіз концепцій побудови комп'ютерних засобів з організацією паралельних та розподілених обчислень	25
1.3 Гетерогенні паралельно-ієрархічні технології та перспективи їх розвитку.....	36
1.4 Вибір напряму, мети та постановка завдань дослідження	44
2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	51
2.1 Аналіз існуючих підходів та класифікація проблемно- орієнтованих методів перетворення інформації	51
2.2 Методологічний базис побудови паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою.....	59
2.3 Особливості розпаралелювання обчислювального процесу в паралельно-ієрархічних системах	70
3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ.....	74
3.1 Розробка мережевої обчислювальної структури та її базових понять для побудови паралельно-ієрархічних систем із рекурсивною архітектурою	74
3.2 Базові теоретичні положення організації кодування- декодування інформації для паралельно-ієрархічних обчислювальних систем	82

3.3 Теоретичні основи організації обчислювальних процесів та структурно-функціональне забезпечення паралельно-ієрархічних обчислювальних систем	94
4 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У ВИСОКО-ПРОДУКТИВНИХ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМАХ ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ	106
4.1 Метод прямого паралельно-ієрархічного перетворення для кодування інформації в обчислювальних системах	106
4.2 Методи зворотного паралельно-ієрархічного перетворення для декодування інформації в обчислювальних системах	117
4.2.1 Методи зворотного паралельно-ієрархічного перетворення із формуванням масок.....	117
4.2.2 Метод зворотного паралельно-ієрархічного перетворення із оптимізацією масок	123
4.3 Аналіз процесів перетворення та обчислювальної складності паралельно-ієрархічних обчислювальних систем	125
5 ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ ТА МЕТОДИКА ЇХ ПОБУДОВИ	141
5.1 Методика організації рекурсивних обчислювальних процесів і структурно-функціональне забезпечення паралельно-ієрархічних обчислювальних систем	141
5.2 Розробка комп'ютерних засобів для паралельно-ієрархічних систем із рекурсивною архітектурою на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи	152
5.2.1 Алгоритмічне та програмно-апаратне забезпечення кодування інформації методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення	152
5.2.1.1 Пряме паралельно-ієрархічне перетворення на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи	152
5.2.1.2 Пряме паралельно-ієрархічне перетворення на основі кластерної CPU-орієнтованої апаратної платформи	156

5.2.2 Алгоритмічне та програмно-апаратне забезпечення декодування інформації методами зворотного паралельно-ієрархічного перетворення	164
5.2.3 Аналіз обчислювальної складності алгоритмів паралельно-ієрархічного перетворення зображень на основі їх асимптотичної складності.....	169
5.3 Розробка комп'ютерних засобів для паралельно-ієрархічних систем із рекурсивною архітектурою на основі GPGPU технологій	172
5.3.1 Обґрунтування вибору GPGPU технологій та особливості архітектурної організації комп'ютерних засобів на їх основі.....	172
5.3.2 Реалізація паралельно-ієрархічного перетворення на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи	178
5.3.3 Оптимізація характеристик обчислювального GPGPU-процесу в паралельно-ієрархічному перетворенні	188
5.3.4 Оцінювання продуктивності апаратного забезпечення паралельно-ієрархічних систем із рекурсивною архітектурою.....	194
5.3.5 Експериментальні дослідження та оцінювання ефективності багатопотокового паралельно-ієрархічного перетворення інформації	197
6 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ПАРАЛЕЛЬНО-ІЄРАРХІЧНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ.....	202
6.1 Оптико-електронні системи обробки інформації для профілювання лазерних променів у реальному часі	202
6.2 Методи та комп'ютерні засоби обробки прямоподібних зображень профілю лазерного променя	208
6.3 Алгоритмічне та програмне забезпечення паралельно-ієрархічного перетворення прямоподібних зображень на основі GPU-орієнтованої апаратної платформи	223
6.4 Методи та комп'ютерні засоби для ущільнення і класифікації багатокольорових зображень на зашумленому фоні	234
ВИСНОВКИ	241

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	244
ДОДАТОК А Приклади паралельно-ієрархічного перетворення інформації та його комп'ютерне моделювання	278
ДОДАТОК Б Паралельно-ієрархічне перетворення із рекурсивною архітектурою на основі CPU-орієнтованої апаратної платформи	297
ДОДАТОК В Паралельно-ієрархічне перетворення із рекурсивною архітектурою на основі GPGPU технологій	316
ДОДАТОК Г Паралельно-ієрархічне перетворення із рекурсивною архітектурою в профілюванні лазерних променів у реальному часі	343

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БД	база даних
БМОК	багатомашинний обчислювальний комплекс
ВПООП	високопродуктивні паралельно-ієрархічні обчислювальні процеси
ДІКМ	диференціальна імпульсно-кодова модуляція
ЕС	експертні системи
ЕЦ	енергетичний центр
ІТ	інтелектуальні інформаційні технології
ІКМ	імпульсно-кодова модуляція
ІІ	інформаційне поле
ІС	інтелектуальна система
КС	комп'ютерна система
ЛЧК	логіко-часовий код
ОЗП	оперативна пам'ять
ОК	образний комп'ютер
ОС	обчислювальна система
ОТ	обчислювальна техніка
ПЗЗ	прилад із зарядовим зв'язком
ПІ	паралельно-ієрархічний
ПІОС	паралельно-ієрархічна обчислювальна система
ПІП	паралельно-ієрархічне перетворення
ПЕ	процесорний елемент
ПІ	поточковий процесор
ПЧ	просторово-часовий
ПЧС	просторово-часове середовище
ТМЗ	транспортна мережа зв'язку
ФП	функціональний пристрій
ЦСЗ	Центральна служба зв'язку
ІІ	штучний інтелект
API	Application Programming Interface
ALU	Arithmetic and Logic Unit
CAD	Computer Aided Design
CCD	Charge-Coupled Device
CPU	Central Processing Unit

CUDA	Compute Unified Device Architecture
DMA	Direct Memory Access
DSP	Digital Signal Processor
FSO	Free Space Optic
GPC	Graphics Processing Clusters
GPU	Graphics Processing Unit
GPGPU	General-Purpose Graphics Processing Units
HMM	Hidden Markov Model
MIMD	Multiple-Instruction, Multiple-Data
MISD	Multiple-Instruction, Single-Data
MPI	Message Passing Interface
MPP	Massively Parallel Processors
PCA	Principal Component Analysis
PCI-E	PCI-Express
PRAM	Parallel Random Access Machine
PVM	Parallel Virtual Machine
Qml	Qt Meta-Object Language
SIMD	Single-Instruction, Multiple-Data
SISD	Single-Instruction, Single-Data
SLI	Scalable Link Interface
SMP	Symmetric Multiprocessor
SPU	Shader Processing Units
UDA	Unified Driver Architecture
VLIW	Very Long Instruction Word
2D	двовимірний
3D	тривимірний

ВСТУП

Останні десятиліття високопродуктивні обчислювальні системи знаходять своє застосування при вирішенні практично будь-яких завдань науки і техніки в усіх галузях народного господарства. Серед таких завдань – моделювання різних фізичних процесів, задачі обчислювальної хімії та біології, нанотехнології, автоматизація проектування та багато інших. Прогрес у галузі високопродуктивних обчислень багато в чому визначає темп розвитку науки і техніки, і, в остаточному підсумку, рівень технологічного розвитку держави в цілому. Тому, можна з упевненістю стверджувати, що створення і вивчення методів розробки програмно-апаратного забезпечення для високопродуктивних обчислювальних систем є однією із найважливіших задач сучасних інформаційних технологій.

Паралельні обчислення є узагальненим терміном, що застосовується для позначення технологій та методів розробки програмно-апаратного забезпечення для високопродуктивних комп'ютерних систем. Термін «паралельні обчислення» описує достатньо широку галузь, яка пов'язана з організацією розрахунків в обчислювальних системах, що містять декілька процесорних пристроїв. До таких систем відносять багатоядерні процесори, багатопроцесорні системи із загальною пам'яттю, високопродуктивні обчислювальні кластери з розподіленою пам'яттю або гібридною архітектурою, системи, що реалізують загальні обчислення на основі відеоадаптерів (GPGPU), хмарні обчислення (Cloud Computing) тощо.

У наукових публікаціях, дослідженнях і прикладних проектах паралельним обчисленням останнім часом приділяється велика увага. Це пов'язано, переважно, з двома чинниками. Перший фактор обумовлений науково-технічним прогресом, у результаті якого з'явилися нові галузі знань, що потребують застосування високопродуктивних методів математичного моделювання. Відповідно і моделі також істотно ускладнились. У підсумку спостерігається тенденція зростання потреби в ресурсоємних розрахунках, які в низці випадків можна виконати лише на базі високопродуктивної обчислювальної техніки і виключно за допомогою методів паралельних, розподілених або ж гетерогенних обчислень.

Другий істотний фактор, в результаті якого інтерес до паралельних обчислень суттєво зріс, полягає в широкому розповсюдженні паралельних комп'ютерів. Останнім часом багатопроцесорні сервери можна часто зустріти на середніх і великих підприємствах, у банках, дослідних інститутах та обчислювальних центрах. З появою багатоядерних процесорів та відеоадаптерів багато користувачів стали володарями своєрідних «міні-суперкомп'ютерів» на своїх робочих місцях. Істотний прогрес у галузі мережевих технологій дозволив використовувати для паралельних обчислень локальні мережі підприємств, навчальні класи освітніх установ, уможливив створення відносно недорогих обчислювальних кластерів.

У підсумку можна стверджувати, що «паралельні інформаційні технології» перетворилися з вузькоспеціальної дисципліни в необхідну складову інформаційної інфраструктури різноманітних установ та організацій, з одного боку, а з другого – в комплекс знань фахівців з інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, розробників сучасного програмно-апаратного забезпечення.

Зокрема, актуальним є застосування паралельних обчислень в галузях, що пов'язані з проведенням ресурсоємних та складних розрахунків, а саме в:

- системах формування, оброблення, ідентифікації та розпізнавання динамічно змінюваних зображень із надвеликою роздільною здатністю (порядку 10000×10000 пікселів і більше) у реальному часі. До цієї категорії відносяться задачі, пов'язані з організацією моніторингу окремих параметрів середовища, лазерної локації, астрополяриметрії, біомедичної сфери, промислових процесів тощо. Зокрема, в сфері профілювання лазерних променів обов'язковою вимогою є застосування високопродуктивних ОС при розпакуванні та обробленні стислих відеоданих із надвеликою роздільною здатністю; їх ідентифікація, класифікація, розпізнавання, а також прогнозування динамічно отриманих швидкозмінних даних і оперативній реакції та прийняттю рішень щодо функціонування лазерної системи у реальному часі;

- системах моніторингу та підтримки прийняття рішень при експлуатації складних технічних об'єктів. До цієї категорії відносяться задачі, пов'язані зі складною функціональною обробкою великорозмірних масивів даних, їх кодуванням, візуалізацією, а також

високоєфективним виконанням запитів пошуку в базах, сховищах та вітринах даних. Зокрема, в сфері автоматизованої підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку є потреба застосування високопродуктивних ОС, пов'язана із великою трудомісткістю при виконанні робіт з обліку каналів зв'язку та характеристик працездатності обладнання, організацією складної функціональної обробки надвеликих масивів даних при діагностиці та контролі систем телекомунікацій.

– системах підтримки проектування (CAD – Computer Aided Design). У таких системах необхідність здійснювати моделювання в реальному часі висуває високі вимоги до продуктивності програмно-апаратного забезпечення. В результаті ж застосування паралельних інформаційних технологій вдається прискорити процес проектування, і тим самим, знизити часові та трудові витрати на розробку нової моделі;

– складних інженерних розрахунках та імітаційному моделюванні. До цього класу належать різноманітні задачі з галузі моделювання аварійних ситуацій, моделювання робастних систем, міцнісного моделювання тощо;

– математичному моделюванні фізичних процесів. До цього широкого класу задач відносять сфери дослідження динаміки рідини і газу, електромагнітні і ядерні взаємодії, процеси горіння і т. п. Використання багатопроцесорних систем і методів паралельних та розподілених обчислень дозволяє підвищити показники точності та продуктивності моделювання;

– моделюванні глобальних процесів. В першу чергу, це задачі прогнозування зміни клімату, природних катаклізмів тощо. Також, великою обчислювальною складністю характеризуються різноманітні геологічні дослідження, пов'язані з аналізом будови та процесів у надрах планети;

– обчислювальній хімії. Різноманітні задачі цієї галузі спрямовані на вивчення властивостей речовини в різних станах. Широке застосування методів молекулярної динаміки також часто потребує значних обчислювальних ресурсів, що підтверджує актуальність застосування паралельного програмування. До цієї категорії можна також віднести задачі, пов'язані з оптимальною

конфігурацією протеїнів, розшифрування ДНК і багато інших проблем, суміжних з хімічною галуззю;

– бізнес-додатках. До цієї категорії відносяться задачі, пов'язані з аналізом фінансових ринків і прогнозуванням курсів валют. Також поширені оптимізаційні задачі для формування прогнозу та прийняття рішень щодо найкращого варіанта використання фінансових або інших ресурсів, побудови оптимальних транспортних і телекомунікаційних мереж, розміщення підприємств в регіоні тощо.

Цей перелік можна продовжувати й далі, адже він є достатньо великим. Проте, вище наведено лише деякі, найбільш виражені за своєю актуальністю із численних застосувань систем паралельних обчислень, перелік сфер застосування яких неухильно і активно розширюється.

Варто відзначити, що на сучасному етапі попит на підвищення гетерогенності в ОС пов'язаний із необхідністю у високопродуктивних інтерактивних системах, які динамічно взаємодіють із зовнішнім середовищем (відео-системи, системи керування, мережеві системи тощо). У минулому технологічні досягнення й масштабованість частоти ПЕ дозволяли більшості комп'ютерних засобів збільшувати продуктивність без структурних змін або апаратного прискорення. В сучасних умовах зростаючі обсяги даних та обчислень, необхідних для обробки великих масивів інформації, потребують все більшої продуктивності використовуваних для цього ОС. Оскільки щільність «упакування» елементів в інтегральних схемах визначається фізичними обмеженнями, швидкодія в результаті обмежується кінцевою швидкістю поширення електромагнітних коливань від одного елемента до іншого. Перебороти цей фізичний бар'єр можна лише розпаралелюванням обчислювальних процесів у системі, що, в свою чергу, призводить до ускладнення її архітектури. Натепер, із врахуванням вказаних додаткових обмежень, основним методом одержання додаткової продуктивності ОС є введення додаткових спеціалізованих ресурсів, в результаті чого ОС стає гетерогенною. Це дозволяє розробникам використовувати декілька типів обчислювальних елементів, кожен з яких здатен виконувати завдання, які найкраще для нього підходять. Введення додаткових, незалежних обчислювальних ресурсів неминуче приводить до того, що більшість

гетерогенних систем розглядаються як паралельні ОС або ж багатоядерні ОС.

Таким чином, можна констатувати, що останнім часом простежується тенденція в галузі високопродуктивних обчислень до конвергенції сучасних технологій паралельної та розподіленої обробки інформації. Проте перед розробниками гетерогенних ОС постають задачі, пов'язані з неоднозначністю вибору можливих варіантів побудови комбінацій функціональних блоків, які можуть бути реалізовані різноманітними апаратно-програмними засобами. Ці задачі потребують дослідження та застосування нових підходів і методів щодо організації високопродуктивних гетерогенних ОС, оскільки правильний вибір конкретних засобів їх реалізації має важливе значення для досягнення потрібних техніко-економічних показників.

Отже, актуальною науково-прикладною проблемою, що підлягає вирішенню, є недостатня продуктивність комп'ютерних засобів оброблення надвеликих масивів цифрової інформації різного походження та їх невідповідність вимогам ресурсоемних обчислювальних задач.

Теоретичний аспект вказаної проблеми полягає у розвитку принципів побудови високопродуктивних ПІОС із рекурсивною архітектурою, розвитку теорії паралельно-ієрархічного перетворення інформації в комп'ютерних системах. Методологічний аспект вказаної проблеми полягає у розробленні нових моделей та методів, які враховують просторово-багаторівневе подання даних і часово-мережевий принцип їх аналізу, що дозволяє реалізацію високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів в багатоядерних системах з GPU-прискоренням.

Принцип паралельно-ієрархічного оброблення інформації припускає організацію багаторівневого ПІ обчислювального процесу, орієнтованого на досягнення максимально можливої алгоритмічної та схемотехнічної швидкодії при перетворенні інформації, і мінімально можливих параметрів ємності пам'яті і споживаної потужності для її збереження, з випереджаючим ростом функціональних можливостей технічних засобів у порівнянні з їхньою складністю. Таким чином, ПІОС для оброблення цифрових сигналів різного походження є тим універсальним засобом, що забезпечить в реальному часі

перетворення великих масивів інформації та дозволить реалізувати ефективні паралельні обчислення.

ППП застосовується для виділення характерних ознак зображень, кодування та скорочення їх розмірності при виконанні обчислень та подальшому збереженні. Досліджені в роботі властивості ППП і структури ППОС використовуються в структурах паралельної пам'яті, системах аналізу та розпізнавання зображень, при кодуванні та ущільненні даних. Особливо перспективною є ідея реалізації ППП при побудові високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем на основі новітніх GPGPU технологій.

З іншого боку, необхідно відзначити, що принцип ППП також частково враховує підтверджену результатами нейронаук гіпотезу про ієрархічну організацію зв'язків між структурами головного мозку, сутність якої ґрунтується на тому, що «передача збудження між структурами, тобто їх активація, може відбуватись не лише за вертикальними (ієрархічним прямим та зворотним) зв'язками, але також за горизонтальними – у межах одного і того ж поля». Відповідно, врахування такої нейроподібної схеми обробки інформації в паралельно-ієрархічному перетворенні, в свою чергу, теж сприяє ефективній реалізації моделей та програмно-апаратних засобів ППОС для високопродуктивної обробки надвеликих масивів інформації.

У монографії відображено результати комплексних наукових досліджень [1–125], що проводяться автором протягом тривалого періоду. Зокрема, окремі результати проведених досліджень відображено у працях: [1–3, 12, 25, 42, 44, 73, 76–78, 85, 86, 89, 90, 93–96, 98] – розвиток теорії паралельно-ієрархічного перетворення інформації в комп'ютерних системах, методології організації високопродуктивних ПП структур, розробка структурно-функціональних моделей ППОС із рекурсивною архітектурою; [5, 9, 19, 24, 26, 79, 88, 106] – методи та математичні моделі кодування/декодування інформації методами прямого/зворотного ППП; організація обчислювального процесу ПП оброблення інформації; [39, 46, 49–53, 60] – моделювання обчислювальних процесів паралельно-ієрархічного перетворення, розробка алгоритмічного та програмного забезпечення паралельно-ієрархічного перетворення інформації; [40, 41, 45, 54–57, 72, 84, 91] – варіанти програмно-

апаратної реалізації високопродуктивних ПІОС із рекурсивною архітектурою; [10, 20, 23, 47, 48, 58, 59, 80–83, 92, 97, 100] – розробка високопродуктивних ПІОС із рекурсивною архітектурою на основі GPGPU технологій; [32, 33, 66, 103, 104, 107, 108] – прикладна реалізація високопродуктивних ПІОС для обробки зображень; [28, 30, 31, 34–37, 61, 62, 65, 67–71, 75, 105, 109, 111–118, 119–125] – прикладна реалізація систем з паралельно-ієрархічним принципом оброблення інформації.

Ця монографія містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф61/199-2015 «Методологія побудови високопродуктивних інтелектуалізованих паралельно-ієрархічних систем на основі сучасних мережевих обчислювальних комплексів з гетерогенною архітектурою».

Автор висловлює глибоку подяку професорові Тимченко Леоніду Івановичу (Державний економіко-технологічний університет транспорту) за увагу до роботи, неоціненну допомогу при обговоренні проблемних питань, а також критичні зауваження та поради.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ І ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Аналіз принципів природного та штучного паралелізму

Аналіз принципів природного паралелізму та його аналогії в паралельно-ієрархічному перетворенні. У роботі про нейронні механізми зору людини учений Д. Х'юбел відзначає, що при зоровому сприйнятті розрізняють два процеси, які відбуваються разом. Перший із них має ієрархічний характер, а другий полягає в дивергенції нейронних шляхів. Наскільки поширені процеси дивергенції і конвергенції сигналів можна судити з того, як аксон майже кожної нейронної клітини даного рівня розбивається на гілки при підході до наступного рівня, і закінчується в декількох або багатьох клітинах. І навпаки, нейронна клітина довільного рівня, крім першого, має синаптичні входи від декількох або багатьох нейронних клітин попереднього рівня [126].

У зв'язку із цим, в цьому підрозділі покажемо, яким чином можна сполучити два таких процеси в одному інформаційному середовищі, і чи можна це використовувати в структурі нейроподібних та ПІ мереж. Аналіз різноманітних робіт із даної тематики показує, що природа для організації нейронних шляхів сама подбала про створення ієрархічного механізму часового поділу сигналів за різноманітними рівнями [126–134]. Причому, основа ієрархічного процесу на кожному рівні полягає в конвергенції нейронних шляхів, а їх поділ у часі – в дивергенції шляхів. Порівняльний аналіз процесів конвергенції-дивергенції нейронних шляхів показує, що моделлю, яка описує ці процеси і дозволяє сполучити ієрархічну обробку і поділ інформаційних сигналів, є розглянуте в даній роботі мережеве ПП [1, 2, 25, 135, 136].

У 1950 р. учений С. Куффлер [137] уперше встановив, що змістовною, зручною та компактною характеристикою нейрона, а тим самим й інформації, що доставляється його вихідними сигналами, може служити карта його рецептивного поля. Характеризуючи рецептивне поле звичайно описують його субструктуру. Тобто, вказують як потрібно стимулювати певну його зону, щоб викликати

реакцію нейронної клітини. Разом з тим, карти рецептивних полів дозволяють також прогнозувати поведження нейронної клітини. Проте подібний опис поведження нейронних клітин можливий лише для декількох областей мозку – сітківки, зовнішнього колінчатого тіла, стріарної кори. У той же час, є множина престріарних зон, рецептивні карти полів яких описати не вдається. Очевидно, це пов'язано з двома обставинами. Перша з яких відноситься до надзвичайної складності нейрофізіологічних експериментів глибоких відділів головного мозку, а друга – до недостатньо розробленої концепції ієрархічної організації їх спільної роботи [134].

Концепцію *ієрархічної організації процесів*, що відбуваються в корі головного мозку людини сформував учений Д. Х'юбел [126], що зводиться до такого. Для вирішення різноманітних зорових задач, що відносяться до кольору, стереоопису, руху та форми, в оброблення інформації включається одна зона за іншою, і в цьому ряді усе більше зростає ступінь абстрагування і складність відображення.

Взаємодію рецептивних полів можна розглянути на прикладі сприйняття кольору людиною. Експериментально встановлено, що після сприйняття трьома типами колбочок сітківки ока, відповідно до теорії Т.Юнга, інформація про колір передається в спеціальні, так названі, бульбашкові клітини стріарної кори, що мають опонентно-кольорові рецептивні поля з центром і периферією. В них колір обробляється відповідно до теорії Геринга, тобто бульбашкові клітини зіставляють червоно-зелене в одній ділянці з червоно-зеленим у навколишньому фоні і роблять те ж саме для жовто-синього і для інтенсивності світла [126, 127, 138]. Учені Д. Х'юбел та М. Лівінгстон припустили, що бульбашкові клітини являють собою гілку зорового шляху, що має справу з «кольором» у широкому значенні, включаючи відтінки чорного, білого і сірого [126, 139].

Таким чином, прослідковується *структурно-ієрархічна організація* процесу сприйняття кольору. Колбочки сітківки ока утворюють перший рівень ієрархії в ізольованих один від одного каналах, що формуються з мозаїк трьох типів колбочок. У колбочках сітківки ока колір перетворюється на основі системи «центр–периферія». У той же час встановлено, що клітини наступного відділу – зовнішнього колінчатого тіла – не пристосовані для кольоро-просторових взаємодій. Тому необхідно виходити на більш високі

рівні зорової системи. У 1968 р. учений Н. Доу відкрив механізм взаємодії подвійних опонентних клітин у сітківці ока золотої рибки, який потім відкрили також і в корі мозку мавп. Але в мавп опонентних клітин не виявили ні в сітківці, ні в зовнішньому колінчатому тілі. Це свідчить про те, що на нижніх рівнях (кольоро-просторових порівнянь) взаємодія клітин не відбувається [126, 137–140].

Здійснивши такий детальний аналіз нейронного механізму сприйняття кольору на нижніх рівнях зорового шляху, можна зробити такі узагальнення. На двох перших нижніх рівнях зорового шляху взаємодія рецептивних полів клітин не відбувається. Починаючи з прошарків стріарної кори, такі взаємодії за типом подвійної опонентної клітини мають місце. Далі, за згаданою вище концепцією Д. Х'юбела про ієрархічний характер сприйняття кольору, в оброблення інформації повинні включатися такі зони, кожна з яких повинна відображати зазначене абстрагування колірної інформації. Адже зрозуміло, що на рівні бульбашкових клітин стріарної кори процес сприйняття кольору не закінчується. Очевидно, це лише початок зорового шляху аналізу кольору [126, 127, 138, 139].

Дійсно, у сітківці та зовнішньому колінчатому тілі, з одного боку, і на першому ієрархічному рівні *паралельно-ієрархічного перетворення*, з іншого боку, процеси аналізу кольору відбуваються в незалежних каналах. Починаючи з наступного рівня – стріарної кори, і другого рівня – у *паралельно-ієрархічному перетворенні*, починаються більш складні взаємодії рецептивних полів, в одному випадку, і відповідно числових полів – в іншому. Причому, такі взаємодії, як впливає з опису цих процесів, в обох випадках відбуваються послідовно в часі. Тобто, процес сприйняття кольору має *ієрархічний характер* як у просторі (в оброблення кольору включається одна зона за іншою), так і в часі. Як показує досвід подібних досліджень, якщо відкрито якийсь нейронний механізм для однієї коркової зони, то подальші дослідження підтверджують його справедливості для наступних зон. Наприклад, Д. Х'юбел і М. Лівінгстон, вивчаючи локальні зв'язки в корі головного мозку, відкрили мозаїчну структуру зорових зон кори. Подальші дослідження показали, що ця особливість зорових зон є загальним принципом організації й інших відділів кори мозку [126, 138, 139].

Якщо використовувати таку модель кольоро-просторового порівняння, то легко перейти від рецептивної форми мережного перетворення до його числової форми. Зупинимося на рецептивній формі мережевого перетворення. При такому підході замість паралельно-ієрархічного перетворення числових полів, що описує загальний випадок, використовується мережеве перетворення рецептивних полів. Тому замість поняття хвостових елементів мережі необхідно користуватися таким поняттям, як хвостові рецептивні поля подвійних опонентних клітин різноманітних рівнів ієрархії. Умовою утворення хвостових рецептивних полів (їхніх сукупностей) є істотне домінування в даний момент часу процесів конвергенції над процесами дивергенції в шарах коркових зон. При цьому спостерігається упорядкована компактність енергетичних (рецептивних) полів, що добре узгоджується з основними положеннями гештальт-теорії, відповідно до якої мозок є динамічною системою, що прагне до стану енергетичної рівноваги [133].

Паралельно-ієрархічний характер обчислень підтверджується результатами нейрофізіологічних досліджень. Так, наприклад, за допомогою мозочкових зв'язків передається на вищий рівень уже перетворений у мозочку сигнал для порівняльного аналізу з інформацією, що надійшла як з периферійних, так і з центральних трактів. Отже, отримані з мозочку сигнали в результаті взаємодії на підкірковому рівні з попередніми корковими сигналами, далі можуть передаватися в кору головного мозку для подальшого оброблення та реалізації на периферії. Це підтверджує наявність ієрархічності в процесах перетворення сигналів [128, 132, 134].

Паралельний характер обчислень також визначається активністю паралельних волокон. Так, зокрема, зернисті клітини і клітини Гольджі мозочка спроможні виконувати декілька видів перетворень початкової імпульсної активності в активність паралельних волокон [141–145].

З вищенаведеного випливає, що результат колірної аналізу зорової сцени складається з центрів рецептивних полів подвійних опонентних клітин всіх ієрархічних рівнів (коркових зон), починаючи з другого рівня (стріарної кори). Таким чином, введений у [126, 127, 138, 139] ученим Д. Х'юбелом термін «ступінь абстрагування» можна представити як ієрархічний процес кольоро-просторової взаємодії

периферій подвійних опонентних клітин. Безпосередньо ступінь абстрагування визначається на кожному ієрархічному рівні ступенем перекриття хвостових рецептивних полів подвійних опонентних клітин. А складність відображення – складністю задіяної (робочої) мережі. Слід зазначити, що структура мережі забезпечує поділ інформаційного процесу не лише в просторі, але і в часі, що особливо важливо. На підтвердження цього свідчить характер аксонних з'єднань, що забезпечують зазначений часовий поділ. На основі дивергенції шляхів такий часовий поділ впливає з нейроанатомічних особливостей організації нейронних зв'язків. Відомо, наприклад, що при дивергенції шляхів аксони одного рівня можуть йти далі, не заходячи на один або два наступні рівні сенсорної системи, або навіть у граничному випадку, прямо направлятися до рухових нейронів, забезпечуючи тим самим часовий поділ взаємодії рецептивних полів. Оскільки на кожному рівні має місце інтеграція (конвергенція) зв'язків, хвостові рецептивні поля в цілому стають усе ближче, тому чим далі від першого рівня (сітківки), тим більш розмитим буде відображення зорово-сприйнятої картини. Причому, зоровий шлях, пройшовши через другий рівень (стріарну кору) і утворивши зв'язки (синапси) у різноманітних гілках (шарах) мережі, виходить із цієї області і, досягаючи інших рівнів (коркових зон), утворить топографічно-упорядковані проєкції хвостових рецептивних полів [141–145].

Аналіз принципів штучного паралелізму та його аналогії в нейроподібних системах та ППОС. Ідея паралельного оброблення даних як потужного резерву збільшення продуктивності обчислювальних систем (ОС) була висловлена ученим Ч. Беббіджем приблизно за сто років до появи першого електронного комп'ютера. Проте рівень розвитку технологій середини ХІХ ст. не дозволив йому реалізувати цю ідею. З появою перших електронних комп'ютерів ці ідеї неодноразово ставали відправною точкою при розробці найбільш передових і продуктивних ОС. Без перебільшення можна сказати, що уся історія розвитку високопродуктивних ОС – це історія реалізації ідей паралельного оброблення на певному етапі розвитку комп'ютерних технологій [146, 147].

Дві події називають одночасними, якщо вони відбуваються протягом одного й того ж часового інтервалу. Якщо кілька завдань

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера : монографія / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
2. Образний відео-комп'ютер око-процесорного типу : монографія / В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, А. А. Яровий, А. В. Кожем'яко – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – 215 с.
3. Тимченко Л. И. Теоретические и прикладные аспекты параллельно-иерархического многоуровневого преобразования цифровых сигналов / Л. И. Тимченко, А. А. Яровой, Н. И. Кокряцкая // Электронное моделирование. – 2013. – Т. 35. – № 2. – С. 35–54.
4. Яровий А. А. Багаторівневі паралельно-ієрархічні системи та їх комп'ютерне моделювання / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 2 (24). – С. 9–17.
5. Yarovyy A. A. Parallel-Hierarchical Computing System for Multi-Level Transformation of Masked Digital Signals / A. A. Yarovyy, L. I. Timchenko, N. I. Kokriatskaia // Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2012. – V. 12, № 3. – P. 13–20.
6. Яровий А. А. Аналіз нових обчислювальних властивостей паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ та їх комп'ютерне моделювання / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 1 (23). – С. 16–24.
7. Яровий А. А. Метод оптимізованого формування масок при кодуванні інформації в паралельно-ієрархічному перетворенні / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6 (99). – С. 216–223.
8. Яровий А. А. Паралельно-ієрархічне перетворення інформаційних середовищ на основі маскового методу / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 1 (21). – С. 15–23.
9. A new approach to detection of noise-distorted signals based on the method of S-preparation [Електронний ресурс] / M. Petrovskiy, L. Timchenko, Yu. Kutaev, A. Yarovyy [та ін.] // Proceedings of IX

International symposium on Telecommunications (BIHTEL 2012), (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, October 25-27, 2012). – Sarajevo : IEEE, 2012 – P. 1–6. – Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6401225>.

10. Високопродуктивні гетерогенні обчислювальні комплекси паралельно-ієрархічного оброблення зображень / Л. І. Тимченко, А. А. Яровий, В. В. Мудрик, Н. І. Кокряцька // Proceedings of 2 International Conference [High Performance Computing (HPC-UA'2012)]. – К. : Три К, 2012. – С. 322–327.

11. Яровий А. А. Обробка зображень методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення на базі кластерних систем з розподіленою обробкою інформації / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 3 (96). – С. 133–140.

12. Kozhemyako V. Methodological Principles of Pyramidal and Parallel-Hierarchical Image Processing on the Base of Neural-Like Network Systems / V. Kozhemyako, L. Timchenko, A. Yarovyy // Advances in Electrical and Computer Engineering – “Stefan cel Mare” University of Suceava, Romania. – 2008. – V. 8 (15), № 2 (30). – P. 54–60.

13. Яровий А. А. Особливості організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 2 (22). – С. 55–64.

14. Яровий А. А. Паралельно-ієрархічне перетворення інформаційних середовищ на основі гетерогенної кластерної системи / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2 (95). – С. 120–127.

15. Яровий А. А. Методологічні особливості побудови паралельно-ієрархічних та ієрарх-ієрархічних мереж на основі кластерних систем з розподіленою обробкою інформації / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 1 (19). – С. 69–79.

16. Applied Realization of Neural Network and Neurolike Parallel-Hierarchical System Based on GPGPU / A. A. Yarovyy // Development and application systems : Proceedings of the 10th International Conference on DAS-2010. – Suceava, Romania :

Universitatea Stefan cel Mare Suceava, 2010 – P. 351–356. – Режим доступу: <http://www.dasconference.ro/cd2010/data/papers/D50.pdf>.

17. Яровий А. А. Імітаційне моделювання та програмна реалізація мережної моделі паралельно-ієрархічного перетворення / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3 (90). – С. 85–92.

18. Яровий А. А. Прикладні аспекти і перспективи побудови кластерів на основі GPU для реалізації паралельної та паралельно-ієрархічної обробки інформації / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2 (18). – С. 119–126.

19. Kozhemyako V. P. Parallel-Hierarchical Transformation as the System Model of Neurolike Scheme of Data Processing / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy // Фундаментальные проблемы оптики-2006 : сборник трудов IV Международной конференции. – СПб. : Corvus, 2006. – С. 246–248.

20. Яровий А. А. Прикладна реалізація масштабних нейронних та нейроподібних паралельно-ієрархічних мереж на основі технологій GPGPU [Електронний ресурс] / А. А. Яровий, Ю. С. Богомоллов, К. Ю. Вознесенський // Наукові праці Вінницького національного технічного університету : електронне наукове фахове видання. – 2009. – № 2. – С. 1–8. – Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2_ua/2009-2.files/uk/09aayogt_ua.pdf. – Назва з екрану.

21. Яровий А. А. Аналіз функціонування програмної моделі GPGPU в контексті організації паралельних обчислень в нейроподібних паралельно-ієрархічних системах / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 1 (17). – С. 42–49.

22. Прикладные аспекты программно-аппаратной реализации нейроподобных параллельно-иерархических систем / А. А. Яровой // XI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2009» : сборник трудов научной сессия МИФИ. – М. : МИФИ, 2009. – Ч. 2. – С. 39–48.

23. Методологічні особливості реалізації нейроподібних паралельно-ієрархічних систем на основі технологій GPGPU / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий, Ю. С. Богомоллов, К. Ю. Вознесенський

// Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 2 (16). – С. 26–33.

24. Population Coding with Parallel-Hierarchical Network Application for Pattern Recognition / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyu, V. V. Khomyuk // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 1(8). – С. 77–81.

25. Методологічні аспекти принципів паралельності та ієрархічності в нейронній обробці інформації / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий, Р. М. Новицький // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С. 98–109.

26. Кожем'яко В. П. Пірамідалне просторово-зв'язане препарування та його прикладна реалізація / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 4 (67). – С. 48–62.

27. Яровий А. А. Нейроподібна мережна модель паралельно-ієрархічної обробки цифрової інформації для задач ідентифікації плямових зображень лазерних пучків / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5 (74). – С. 95–102.

28. Кожем'яко В. П. Методологічні підходи до паралельно-ієрархічної обробки плямових зображень лазерних пучків та їх прикладна реалізація / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1 (11). – С. 14–25.

29. Яровий А. А. Методологічні особливості побудови 3D відображення плямових зображень лазерного променя та його розпізнавання / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 2 (20). – С. 72–80.

30. Яровий А. А. Інтелектуальна система ущільнення та розпізнавання зображень для задач профілювання лазерного променя [Електронний ресурс] / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету : електронне наукове фахове видання. – 2010. – № 2. – С. 1–11. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-2/2010-2.files/uk/10yaalbp_ua.pdf. – Назва з екрану.

31. Яровой А. А. Теоретико-методологические и прикладные аспекты использования технологий визуализации для задач профилирования лазерных лучей [Электронный ресурс] / А. А. Яровой, А. М. Яровой // Научная визуализация : электронный журнал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2010. – Т. 2, № 3. – С. 50–72. – Режим доступа до журн.: <http://sv-journal.com/2010-3/04/index.html>. – Назва з екрану.

32. Яровий А. А. Аналіз методики нейромережевого розпізнавання кольорових зображень в контексті її універсальності / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2009. – № 653. – С. 255–262.

33. Яровий А. А. Імітаційне моделювання нейромережевої системи розпізнавання багатокольорових плямових зображень профілю лазерного променя [Електронний ресурс] / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету : електронне наукове фахове видання. – 2010. – № 3. – С. 1–6. – Режим доступа до журн.: http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/VNTU/2010_3/2010-3.files/uk/10aaylbp_ua.pdf. Назва з екрану.

34. Розробка методів і засобів для високоточного вимірювання та прогнозування координат енергетичних центрів зображень протяжних лазерних трас / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий, Д. П. Зарезенко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 1 (13). – С. 5–12.

35. Software Support of Accurately Measurement and Prediction of Laser Beam Profile Characteristics / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy // Proceedings of the X International Conference „Swiatowody i ich zastosowania”, 4–7 October 2006, Krasnobryd, Poland. – Lublin : Wydawnictwo-Drukarnia Liber Duo s.c., 2006. – Т. 2. – Р. 675-684.

36. Яровий А. А. Розробка нейромережевої інтелектуальної системи для прогнозування енергетичних центрів плямових зображень в процесах профілювання лазерного променя / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – № 1. – С. 39–50.

37. Кожем'яко В. П. Методологічні особливості побудови моделей статистичного аналізу та прогнозування часових рядів на базі нейронних мереж у задачах профілювання лазерних променів / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1 (15). – С. 67–72.

38. Яровий А. А. Інтелектуальна система аналізу та обробки складових характеристик профілю лазерного променя для їх нейроподібного паралельно-ієрархічного розпізнавання та ідентифікації / А. А. Яровий // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 3(10). – С. 115–123.

39. Kozhemiako V. P. Parallel-hierarchical networks as structural-functional basis for construction of pattern computer models / V. P. Kozhemiako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2 (10). – С. 49–54.

40. Кожем'яко В. П. Розробка багатофункціональних оптико-електронних модулів як базових компонентів моделей образного комп'ютера / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 1 (9). – С. 139–147.

41. Кожем'яко В. П. Нанотехнологічні принципи реалізації оптоелектронного модуля для запису, збереження та відображення інформації / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий, Р. М. Новицький // Комп'ютинг. – 2007. – Т. 6, вип. 3. – С. 52–61.

42. Модели параллельно-иерархической обработки информации на основе аппарата логико-временных функций / В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, А. А. Яровой // Информационные и компьютерные технологии, моделирование, управление : тезисы докладов Международной научной конференции посвященной 80-летию со дня рождения академика И. В. Прангишвили (1–4 ноября 2010 г.). – Тбилиси : Издательство ГТУ, 2010. – С. 231–232.

43. Яровий А. А. Концептуальні підходи до розробки нейронного елемента логіко-часового типу та його прикладна реалізація / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 1 (82). – С. 37–40.

44. Моделі нейронних елементів логіко-часового типу /

В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, А. А. Яровий, І. В. Мороз // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 2 (14). – С. 63–72.

45. Патент України на винахід № 78533. Оптоелектронний модуль / Кожем'яко В. П., Тимченко Л. І., Яровий А. А., Ковінько Ю. О., Новицький Р. М., Самра Муавія Хамо. ; опуб. 10.04.2007, Бюл. № 4.

46. Kozhemyako V. P. Methodological Peculiarities of Neural-Like Network Model for Pyramidal and Parallel-Hierarchical Processing of Digital Information. / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy // Abstracts Book of the 9th Int. Conf. DAS-08.– Suceava, Romania : Universitatea Stefan cel Mare Suceava, 2008 – P. 68.

47. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45426. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма кодування/декодування інформації модифікованими для GPGPU методами прямого та зворотного паралельно-ієрархічного перетворення з оптимізацією масок» / Яровий А. А., Сугак І. М., Трошина А. В. Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 03.09.2012.

48. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45427. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма для визначення оптимальних параметрів груп паралельних потоків при організації обчислювального GPGPU-процесу в паралельно-ієрархічному перетворенні» / Яровий А. А., Сугак І. М., Трошина А. В. Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 03.09.2012.

49. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39488. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма прямого паралельно-ієрархічного перетворення з формуванням масок (із множенням мінімального елемента на потужність в операторі перетворення G)» / Яровий А. А., Сугак І. М. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2011.

50. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39491. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма зворотного паралельно-ієрархічного перетворення на основі маскового методу (із

множенням мінімального елемента на потужність в операторі перетворення G)» / Яровий А. А., Сугак І. М. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2011.

51. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39490. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма прямого паралельно-ієрархічного перетворення з оптимізацією формування масок (із множенням мінімального елемента на потужність в операторі перетворення G)» / Яровий А. А., Сугак І. М. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2011.

52. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39489. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма зворотного паралельно-ієрархічного перетворення на основі оптимізованого маскового методу (із множенням мінімального елемента на потужність в операторі перетворення G)» / Яровий А. А., Сугак І. М. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2011.

53. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45425. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма для моделювання процесу кодування інформаційних масивів методом прямого паралельно-ієрархічного перетворення без масок» / Яровий А. А., Трошина А. В., Мурзак І. Д. Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 03.09.2012.

54. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 34123. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для реалізації паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ на основі CPU-орієнтованої кластерної платформи (DirectPHT::Cluster)» / Яровий А. А., Богомолів Ю. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 14.07.2010.

55. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 34122. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для реалізації паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ на основі GPU-орієнтованої кластерної платформи (DirectPHT::GPU-Cluster)» / Яровий А. А., Богомолів Ю. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 14.07.2010.

56. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 33758. Комп'ютерна програма для реалізації паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ на основі CPU (Direct RHT::CPU) / Яровий А. А., Богомолів Ю. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 17.06.2010.

57. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 33759. Комп'ютерна програма для реалізації паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ на основі технологій GPGPU (Direct RHT::GPU) / Яровий А. А., Богомолів Ю. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 17.06.2010.

58. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 31705. Комп'ютерна програма «Програмна бібліотека для організації паралельної обробки інформації на основі програмування відеоадаптерів ATI („useGPU”)) / Яровий А. А., Вознесенський К. Ю., Богомолів Ю. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 21.01.2010.

59. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 31706. Комп'ютерна програма «Програмна бібліотека для побудови GPU-кластера із організацією розподіленої обробки інформації на основі програмування віддалених відеоадаптерів ATI („dotGPU”)) / Яровий А. А., Вознесенський К. Ю. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 21.01.2010.

60. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 27755. Комп'ютерна програма «Програмна бібліотека для конструювання та моделювання топологій штучних нейронних та нейроподібних мереж» („NN-Constructor”) / Яровий А. А., Богомолів Ю. С., Вознесенський К. Ю. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 20.02.2009.

61. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 20958. Комп'ютерна програма для реалізації обробки плямових зображень відео-траси лазерних променів у реальному часі / Яровий А. А., Зарезенко Д. П. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 18.06.2007.

62. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 21866. Комп'ютерна програма для аналізу та ідентифікації плямових зображень лазерних пучків у реальному часі з підвищеною точністю вимірювання координат енергетичних центрів як складових характеристик профілю лазерного променя („Laser Beam Analysis”) / Яровий А. А., Зарезенко Д. П., Коновалюк Ю. М. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 30.08.2007.

63. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26731. Комп'ютерна програма спеціалізованої гістограмної моделі для процесу тунелювання при ідентифікації плямових зображень відео-траси лазерних пучків („Laser Beam Application::Advanced Histogram”) / Яровий А. А. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 01.12.2008.

64. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26732. Комп'ютерна програма динамічного 3D моделювання та аналізу відео-траси лазерного променя для профілювання у реальному часі („Laser Beam::3D Video”) / Яровий А. А. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 01.12.2008.

65. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 24059. Комп'ютерна програма для моделювання тривимірного профілю лазерного променя у реальному часі на базі плямових зображень відео-траси лазерних пучків („Laser Beam::3D Profiling”) / Яровий А. А., Зарезенко Д. П. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 24.03.2008.

66. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 34042. Комп'ютерна програма нейромережевого розпізнавання багатокольорових символних зображень на зашумлених фонах („MultiColorImageRecogniser::NN Preprocessing”) / Яровий А. А., Власюк Р. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 09.07.2010.

67. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45428. Комп'ютерна програма «Інтелектуальна система ідентифікації двовимірних статичних та динамічних профілів

лазерного променя на основі нечіткої логіки» / Яровий А. А., Степанчук О. В., Трошина А. В. Дата реєстрації Державною службою інтелектуальної власності України 03.09.2012.

68. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 24444. Комп'ютерна програма «Оболонка експертної системи продукційного типу для підтримки процесу прийняття рішень "Decision Support Expert:Shell"» / Яровий А. А., Яровий А. М., Малик Н. О. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 13.05.2008.

69. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29085. Комп'ютерна програма нейромережевого розпізнавання та класифікації плямових зображень для попередньої обробки характеристик профілю лазерного променя („Laser Beam::NN Preprocessing”) / Яровий А. А., Власюк Р. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.06.2009.

70. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 34386. Комп'ютерна програма «Програмний модуль попереднього оброблення вхідних даних та візуалізації результатів нейромережевого прогнозування координат енергетичних центрів профілю лазерного променя („LaserBeam::Prediction-P&V”)» / Яровий А. А., Власюк Р. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2010.

71. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 34385. Комп'ютерна програма «Програмний модуль для структурного та параметричного синтезу нейронної мережі інтелектуальної системи для прогнозування координат енергетичних центрів профілю лазерного променя („LaserBeam::Prediction-NN”)» / Яровий А. А., Власюк Р. С. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 04.08.2010.

72. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 26935. Комп'ютерна програма для імітаційного моделювання структур нейронних мереж логіко-часового типу („Logic-temporal neural net builder”) / Яровий А. А., Ляшенко Ю. Л. Дата реєстрації Державним Департаментом інтелектуальної власності України 17.12.2008.

73. Яровий А. А., Арсенюк І. Р. Науковий проект GP/F44/051 / 4710 «Методи та засоби організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних процесів в інтелектуальних системах» (№ держ. реєстрації: 0112U008123). Заключний звіт. 25.12.2012. – 181 с.

74. Яровий А. А. Науковий проект Ф13/49-2007 «Інтелектуальна система для ідентифікації плямових зображень лазерних пучків» (№ держ. реєстрації: 0107U011806). Заключний звіт. 29.11.2007. – 107 с.

75. Тимченко Л. І., Яровий А. А., Кокряцька Н. І. та ін. Науковий проект «Розробка алгоритмів роботи автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку» (№ держ. реєстрації: 0113U003214). Заключний звіт. 24.12.2012. – 77 с.

76. Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л., Яровий А. А. та ін. Науковий проект 57-Д-337 «Розподілені ієрархічні оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища» (№ держ. реєстрації: 0111U001104) . Проміжний звіт. 20.12.2012. – 207 с.

77. Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л., Яровий А. А. та ін. Науковий проект 57-Д-300 «Оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища на базі образних комп'ютерів» (№ держ. реєстрації: 0108U000662). Заключний звіт. 29.11.2010. – 350 с.

78. Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л., Яровий А. А. та ін. Науковий проект 57-Д-281 «Оптико-електронний квантово-розмірний образний комп'ютер око-процесорного типу: концепції, методологія, база знань» (№ держ. реєстрації: 0105U002434). Заключний звіт. 13.12.2007. – 394 с.

79. Theoretical Aspects of Parallel-Hierarchical Multi-Level Transformation of Digital Signals / A. Yarovyy, L. Timchenko, N. Kokriatskaia : Development and application systems : Proceedings of the 11th International Conference on DAS-2012, May 17-19, 2012, Suceava, Romania – Suceava, Universitatea Stefan cel Mare Suceava, 2012. – P. 1–9.

80. Яровий А. А. Варіантний аналіз апаратної та програмної платформи для організації високопродуктивного обчислювального

комплексу на основі технологій GPGPU / А. А. Яровий, В. В. Мудрик, М. М. Титко // Інформаційні технології та безпека інформаційно-комунікаційних систем : збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : Вінницький обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників, 2012. – С. 313–318.

81. Яровий А. А. Високопродуктивний обчислювальний мережевий комплекс на основі сучасних паралельно-ієрархічних технологій та GPGPU. / А. А. Яровий, А. О. Борисов, В. В. Мудрик // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті : тези доповідей III міжнародної науково-практичної конференції ІСПО-2011. – Суми : Видавництво СумДУ, 2011. – С. 146–148.

82. Яровий А. А. Аналіз технологій мультичіпової обробки даних на GPU для організації масивно-паралельних обчислень / А. А. Яровий, В. В. Мудрик // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія (ІТКІ-2012) : тези доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012 – С. 50–51.

83. Мудрик В. В. Способи організації масивно-паралельних обчислень на базі апаратної платформи GPU. / В. В. Мудрик, О. В. Степанчук, А. А. Яровий // Сучасні інформаційні технології 2012 (МІТ-2012) : матеріали II міжнародної конференції молодих науковців. – Одеса : Видавництво ОНПУ, 2012. – С. 98–99.

84. Яровий А. А. Прикладні аспекти реалізації паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ на основі гетерогенної кластерної системи. / А. А. Яровий, Ю. С. Богомолів // «ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2010» : збірник матеріалів VII Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010 – С. 243–247.

85. Kozhemyako V. P. Methodological Peculiarities of Neural-Like Network Model for Pyramidal and Parallel-Hierarchical Processing of Digital Information. / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy // Proceedings of the 9th International Conference on „Development and application systems (DAS-08)”. – Suceava : Universitatea Stefan cel Mare Suceava, 2008. – P. 313–319.

86. V. P. Kozhemyako. Realization of the model of neurobiological information processing on the base of parallel-hierarchical network. / V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, A. A. Yarovyuy //

Proceedings of the Fifth International Conference „INTERNET – EDUCATION – SCIENCE IES-2006”. – Vinnytsia, Universum-Vinnytsia, 2006. – V. 2. – P. 616–620.

87. Яровий А. А. Методологічні особливості організації нейроподібної паралельно-ієрархічної обробки цифрової інформації / А. А. Яровий. // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2010» : збірник тез V Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 71.

88. Яровий А. Розробка методу подання масок для оптимізації зворотного паралельно-ієрархічного перетворення зображень. / А. Яровий, І. Сугак // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції СПРТП-2011. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – С. 25.

89. Яровий А. А. Методологічні особливості організації мережної моделі паралельно-ієрархічного перетворення інформаційних середовищ / А. А. Яровий, І. М. Сугак, А. В. Трошина // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем : тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції МПЗІС-2011. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2011. – С. 299–300.

90. Яровий А. А. Методологічні та прикладні аспекти реалізації мережної моделі прямого та зворотного паралельно-ієрархічного перетворення. / А. А. Яровий, Ю. С. Богомолів, І. М. Сугак // Системний аналіз та інформаційні технології : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2011. – К. : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2011. – С. 518.

91. Апаратна реалізація паралельно-ієрархічної мережі на основі DSP / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий, С. Ремезюк // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС–2005» : збірник тез доповідей III міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 43.

92. Яровий А. А. Особливості організації паралельних потоків при виконанні паралельно-ієрархічного перетворення на основі GPGPU / А. А. Яровий, І. М. Сугак // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія (ІТКІ-2012) : тези доповідей III Міжнародної

науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012 – С. 52–53.

93. Яровий А. А. Особливості організації обчислювального процесу в багаторівневих паралельно-ієрархічних системах / А. А. Яровий, А. В. Трошина // *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації (МЗКЗУІ-2013)* : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : Едельвейс і К, 2013. – С. 337–340.

94. Яровий А. А. Математичне моделювання методів паралельно-ієрархічного перетворення та аналіз їх властивостей / А. А. Яровий, А. В. Трошина // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія (ІТКІ-2012)* : тези доповідей Третьої Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012 – С. 56-57.

95. Яровий А. А. Математичні моделі паралельно-ієрархічних мереж та їх комп'ютерне моделювання / А. А. Яровий, А. В. Трошина, Т. Д. Польгуль // *Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)* : тези доповідей XI Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 111–112.

96. Яровий А. А. Структурно-функціональна організація багаторівневих паралельно-ієрархічних систем та аналіз їх обчислювальних властивостей / А. А. Яровий, А. В. Трошина // *Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2012)* : збірник праць Восьмої Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 109.

97. Яровий А. А. Імітаційне моделювання та програмна емуляція нейроподібних паралельно-ієрархічних систем на основі технологій GPGPU / А. А. Яровий, Ю. С. Богомолів // *Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)* : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : Радіоінформ, 2009. – Ч. 2. – С. 27.

98. Кожем'яко В. П. Нейронна мережа логіко-часового типу як структурно-функціональний базис для обробки образної інформації / В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий // *Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС–2008»* : збірник тез доповідей IV міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – С. 99–100.

99. Яровий А.А. Імітаційне моделювання та програмна емуляція нейронного елемента логіко-часового типу / А. А. Яровий // Інтернет – Освіта – Наука 2008 : збірник матеріалів VI міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – Т. 2. – С. 553–556.

100. Яровий А. А. Паралельно-ієрархічне перетворення для вирішення задач кодування зображень з використанням технології CUDA / А. А. Яровий, В. В. Мудрик, І. Д. Мурзак // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012) : тези доповідей XI Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 110–111.

101. Yarovyuy A. A. Soft Hardware Development Intended for Real Time Processing of Laser Beams Spot Images / A. A. Yarovyuy // Optics and High Technology Material Science «SPO-2005» : збірник наукових праць VI міжнародної наукової конференції молодих вчених. – К. : Київський університет, 2005. – С. 164.

102. Yarovyuy A.A.Parallel-hierarchical and Q-transformations as methodological basis for effective images processing and pattern recognition in real time. / A. A. Yarovyuy – 9th International Young Scientists Conference «Optics and High Technology Material Science» : збірник наукових праць. – К. : Київський університет, 2008. – С. 168.

103. Яровий А. А. Аналіз методики нейромережевого розпізнавання багатокольорових зображень в контексті її універсальності. / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // Комп'ютерні науки та інженерія CSE-2009 : матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2009 – С. 90–92.

104. Яровий А. А. Імітаційне моделювання та програмна реалізація нейромережевої системи розпізнавання багатокольорових зображень. / Р. С. Власюк, А. А. Яровий // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009) матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : Радіоінформ, 2009. – Ч. 1. – С. 40.

105. Седлецький М. В. Розробка способу нейромережевого розпізнавання та класифікації плямових зображень в задачах профілювання лазерних променів. / А. А. Яровий, Р. С. Власюк, М. В.

Седлецький // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI-2009 : матеріали Міжнародної наукової конференції. – Херсон, ХНТУ, 2009. – Т. 2. – С. 479–483.

106. Методы пирамидального кодирования для сжатия данных / В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, А. А. Яровой, Н. И. Кокряцкая // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – № 2 (8). – С. 58–66.

107. Яровой А. А. Розробка інтелектуальної системи ущільнення та розпізнавання плямових зображень / А. А. Яровой, Р. С. Власюк // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : тези доповідей другої Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2009. – С. 152–153.

108. Власюк Р. С. Розпізнавання кольорових символічних зображень на зашумлених фонах. / Р. С. Власюк, А. А. Яровой // СНКПМІ-2009 : тези доповідей VII міжнародної наукової конференції з прикладної математики та інформатики. – Львів, ЛНУ ім. І. Франка, 2009. – С. 56–57.

109. Яровой А. Ідентифікація плямових зображень лазерних пучків на базі нейроподібних паралельно-ієрархічних систем. / А. Яровой, Д. Зарезенко // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007) : матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 115–116.

110. Yarovyy A. A. Intelligent system for identification of the laser beam spot images on a basis of neurolike parallel – hierarchical technologies. / A. A. Yarovyy // Optics and High Technology Material Science «SPO-2007» : збірник наукових праць VIII міжнародної наукової конференції молодих вчених. – К. : Київський університет, 2007. – С. 112.

111. Програмні засоби реалізації обробки плямових зображень лазерних пучків у реальному часі / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровой, Д. Зарезенко // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС–2005» : збірник тез доповідей III міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 92–93.

112. Яровий А. А. Інтелектуальна система розпізнавання плямоподібних зображень лазерного променя з нечіткою логікою та прикладні аспекти її реалізації / А. А. Яровий, О. В. Степанчук, В. В. Мудрик // Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень : збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції. – Вінниця : Вінницький обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників, 2012. – С. 224–235.

113. Яровий А. А. Аналіз методологічних підходів до розпізнавання 3D об'єктів в контексті проблеми профілювання лазерних променів. / А. А. Яровий, Р. С. Власюк // ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2010 : збірник матеріалів VII Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 238–240.

114. Яровий А. А. Аналіз методів розпізнавання складних 3D об'єктів та технологій їх реалізації. / А. А. Яровий, О. В. Степанчук // Оптикоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2010» : збірник тез V Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010 – С. 75.

115. Степанчук О. В. Методи та засоби для ідентифікації тривимірних об'єктів плямоподібних зображень профілю лазерного променя. / О. В. Степанчук, А. А. Яровий // Сучасні інформаційні технології 2011 (МІТ-2011) : матеріали першої міжнародної конференції молодих науковців. – Одеса : ОНПУ, 2011. – Т. 2. – С. 97–98.

116. Yarovyu A. Recognition and expertise of 3D profiles of laser beam in context of their identification / A. Yarovyu, O. Stepanchuk, O. Dmytrenko // 12th International Young Scientists Conference „Optics and High Technology Material Science” : збірник наукових праць. – К. : Київський університет, 2011. – С. 217.

117. Яровий А. А. Розробка програмних засобів ідентифікації та розпізнавання 3D зображень для систем профілювання лазерних променів / А. А. Яровий, Р. С. Власюк, О. В. Степанчук // Комп'ютерні науки та інженерія (CSE-2010) : збірник матеріалів IV Міжнародної конференції молодих вчених. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2010. – С. 30–31.

118. Яровий А. А. Розробка програмних засобів ідентифікації та розпізнавання 3D зображень для систем профілювання лазерних променів / А. А. Яровий, Р. С. Власюк, О. В. Степанчук // Комп'ютерні науки та інженерія (CSE-2010) : збірник матеріалів IV Міжнародної конференції молодих вчених. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2010. – С. 30–31.

119. Яровий А. А. Інтелектуальні методики і засоби ідентифікації та прогнозування складових характеристик профілю лазерного променя / А. А. Яровий, Д. П. Зарезенко, В. Ю. Янчик // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті – 2007 : тези доповідей Першої міжнародної науково-технічної конференції. – Суми, 2007. – С. 181–182.

120. Яровий А. А. Комп'ютерне моделювання нейромережевої інтелектуальної системи для задач прогнозування складових характеристик профілю лазерного променя. / А. А. Яровий, Р. С. Власюк, О. В. Крейчі // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 329–330.

121. Яровий А. А. Розробка імітаційної моделі системи прогнозування координат енергетичних центрів плямових зображень профілю лазерного променя. / А. А. Яровий, Р. С. Власюк, О. В. Крейчі // Системний аналіз та інформаційні технології : матеріали 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010. – К. : ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2010. – С. 347.

122. Яровий А. А. Нейромережеве прогнозування складових характеристик профілю лазерного променя на базі перцептронних структур. / А. А. Яровий, В. Ю. Янчик, Д. П. Зарезенко // Інтелектуальні системи прийняття рішень і прикладні аспекти інформаційних технологій (ISDMIT-2007) : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон, ПП Вишемирський В. С., 2007. – Т. 2. – С. 246–249.

123. Яровий А. А. Комп'ютерні засоби для підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі її кластерної організації із застосуванням GPGPU технологій / А. А. Яровий, В. В. Мудрик // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення

інформації (МЗКЗУІ-2013) : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : Едельвейс і К, 2013. – С. 314–317.

124. Яровий А. А. Програмний комплекс для моніторингу та підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку із використанням технології GPGPU / А. А. Яровий, В. В. Мудрик // Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2012) : збірник праць Восьмої Міжнародної науково-практичної конференції. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 49–50.

125. Яровий А. А. Перспективи впровадження технологій GPGPU в структуру автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку / А. А. Яровий, В. В. Мудрик // Фотоніка ОДС-2012) : збірник тез доповідей Шостої Міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця : Едельвейс і К, 2012. – С. 37–38.

126. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / Д. Хьюбел. – М. : Мир, 1990. – 239 с.

127. Hubel D. Receptive Fields, Binocular Interaction, and Functional Architecture in the Cat's Visual Cortex / D. Hubel, T. N. Weisel // *Psychol.* – 1962. – V. 160. – P. 106–154.

128. Zeki S. A Vision of the Brain / S. Zeki. – Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1993. – P. 178–190.

129. Kandel R. The Biological Basis of Learning and Individuality / R. Kandel, R. Hawcins // *Scientific American.* – 1992. – V. 267 (3). – P. 53–60.

130. Szentagonthai J. The "modul-concept" in cerebral cortex architecture / J. Szentagonthai // *Brain Res.* – 1975. – P. 475–496.

131. Rock I. The Legacy of Gestalt Psychology / I. Rock, S. Palmer // *Scientific American.* – 1990. – V. 263, № 6. – P. 48–61.

132. Crick F. Towards a Neurobiological Theory of Conscionsness / F.Crick, C. Koch // *Seminars in the Neuroscinces.* – 1990. – V. 2. – P. 263–275.

133. Kohler W. Gestalt Psycholody. / W.Kohler. – New York : Liyeright, 1929. – 403 p.

134. Blum F. Brain, Mind and Behavior. / F. Blum, A. Lazerson, L. Hofstadter. – New York : W.H. Freeman and Co., 1985. – 323 p.

135. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, Л. Такахара. – М. : Мир, 1973. – 344 с.

136. Тимченко Л. І. Конвергентні та дивергентні процеси в реальних та штучних нейронних мережах / Л. І. Тимченко // Вісник ВПІ. – 1997. – № 1. – С. 5–10.
137. Kuffler S. W. From Neuron to Brain / S. W. Kuffler, J. G. Nicholls, A. R. Merten. – Sunderland, Mass. : Sinauer Associates, 1984. – 651 p.
138. Livingstone M. S. Anatomy in the Primate Visual Cortex. / M. S. Livingstone, D. H. Hubel // Neurosci. – 1984. – № 4. – P. 309–356.
139. Nicoll R. A. The Current Excitement in Long-Term Potentiation / R. A. Nicoll, J. A. Kauer, R. C. Malenka // Neuron. – 1988. – № 1(2). – P. 97-103.
140. Churchland P. The Computational Brain / P. Churchland, T. J. Sejnowski. – Bradford : The MIT Press/Bradford Books, 1992. – 544 p.
141. Казаков В. Н. Исследование конвергентных свойств клеток Пуркинье при центральных и периферических раздражениях / В. Н. Казаков, Т. Е. Калинина, Е. А. Рахманина // Структурная и функциональная организация мозжечка : труды IV симпозиума. – Ереван, 1979. – С. 130–135.
142. Физиология человека. / Е. Б. Бабский, А. А. Зубков, Г. И. Косицкий, Б. И. Ходоров. – М. : Медицина, 1972. – 656 с.
143. Амадуни А. С. О нейронной организации фастигального ядра мозжечка кошки / А. С. Амадуни // Структурная и функциональная организация мозжечка : труды IV симпозиума. – Ереван, 1979. – С. 113–123.
144. Айрапетян А. А. Сравнительная оценка влияния электрического раздражения центральных ядер мозжечка на активность нейронов специфических и неспецифических структур таламуса / А. А. Айрапетян, Л. Г. Ваганян // Структурная и функциональная организация мозжечка : труды IV симпозиума. – Ереван, 1979. – С. 166–171.
145. Альтман Я. А. О роли мозжечка в организации слуховой функции / Я. А. Альтман, Н. Н. Бехтерев, Е. А. Родионова // Структурная и функциональная организация мозжечка : труды IV симпозиума. – Ереван, 1979. – С. 73–77.

146. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
147. Аляутдинов М. А. Методы распараллеливания и программно-аппаратной реализации нейросетевых алгоритмов обработки изображений / М. А. Аляутдинов, А. И. Галушкин, Л. Е. Назаров // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2003. – № 2. – С. 3–21.
148. Лупин С. А. Технологии параллельного программирования / С. А. Лупин, М. А. Посыпкин. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2011. – 208 с.
149. Бройнль Т. Паралельне програмування : навч. посібник / Т. Бройнль ; пер. з нім. В. А. Святного. – К. : Вища школа, 1997. – 358 с.
150. Хьюз К. Параллельное и распределенное программирование на C++. / К. Хьюз, Т. Хьюз. – М. : Вильямс, 2004. – 672 с.
151. Аляутдинов М. А. Перспективные средства построения высокопроизводительных масштабируемых вычислительных систем / М. А. Аляутдинов, А. И. Галушкин, Г. В. Троепольская // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2008. – № 8. – С. 70–80.
152. С. Хайкин. Нейронные сети : полн. курс / С. Хайкин. – М. : Вильямс, 2008. – 1103 с.
153. Галушкин А. И. Нейронные сети: история развития теории. / А. И. Галушкин, Я. З. Цыпкин. – М. : Радиотехника, 2001. – 839 с.
154. Круг П. Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учебн. пособие [для студ. высш. учебн. зав. по курсу «Микропроцессоры»] / П. Г. Круг – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 176 с.
155. Glesner M. Neurocomputers. An Overview of Neural networks in VLSI / M. Glesner, W. Pochmuller. – New York : Chapman & Hall, 1994. – 281 p.
156. Ліскевич Р. І. Універсальний НВІС-процесор швидких тригонометричних перетворень / Ліскевич Р. І., І. Г. Цмоць, М. М. Яцимірський // Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці. – Київ, 2000. – Вип. 10. – С. 190–197.
157. Parallel algorithms for digital image processing, computer vision and neural networks / I. Pitas ed. – John Wiley & Sons, 1993. – 410 p.
158. Sundararajan N. Parallel architectures for artificial neural networks: paradigms and implementations. / N. Sundararajan,

P. Saratchandran. – Los Alamitos: Wiley-IEEE Computer Society, 1998. – 379 p.

159. Осинский В. И. Зонная инженерия: ионная реализация виртуальных квантово-размерных гетероструктур наноэлектроники / В. И. Осинский, В. Г. Вербицкий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 1. – С. 169–183.

160. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень : монографія / В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 126 с.

161. Вінцюк Т. К. Образний комп'ютер: концепція, методологія, підходи. / Т. К. Вінцюк // УкрОБРАЗ'2000 : праці п'ятої міжнародної конференції. – К., 2000. – С. 9–16.

162. Livingstone D. J. Artificial Neural Networks. Methods and Applications. – Volume 458. / D.J. Livingstone – NY : Humana Press, 2009. – 254 p.

163. M. Hassoun. Fundamentals of Artificial Neural Networks / M. Hassoun. – A Bradford Book, 2003. – 511 p.

164. Suzuki Kenji. Artificial Neural Networks – Architectures and Applications. / Kenji Suzuki. – Rijeka: InTech, 2013. – 256 p.

165. Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности / под редакцией: акад. В. А. Садовниченко, акад. Г. И. Савина, чл.-корр. РАН Вл. В. Воеводина. – М. : Издательство Московского университета, 2009. – 232 с.

166. Furht B. Handbook of Cloud Computing / Borko Furht, Armando Escalante. – New York : Springer Science+Business Media LLC, 2010. – 634 p.

167. Тимченко Л. И. Многоэтапная параллельно-иерархическая сеть как модель нейроподобной схемы вычислений / Тимченко Л.И. // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – №2. – С. 114-134.

168. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Основи теорії пірамідально сільового перетворення зображень. / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, Ю. Ф. Кутаев, І. Д. Івасюк. – К. : УМК ВО, 1994. – 272 с.

169. Пирамидально-сетевые технологии Q-преобразования сигналов : монография / Л. И. Тимченко, О. В. Шевченко, Ю. Ф. Кутаев [и др.]. – К. : Наукова думка, 2011. – 586 с.
170. Э. Таненбаум Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб. : Питер, 2003. – 877 с.
171. Эндрюс Г. Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования / Г. Р. Эндрюс – М. : Вильямс, 2003. – 512 с.
172. Rauber T. Parallel Programming For Multicore and Cluster Systems / T. Rauber, G. Runger. – Berlin : Springer, 2010. – 455 p.
173. Розподілені комп'ютерні системи як складові інформаційних інфраструктур / В. П. Горбулін, О. Г. Додонов, О. С. Горбачик, М. Г. Кузнецова // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 19-24.
174. Карпов Ю. Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. / Карпов Ю.Г. – СПб.: "БХВ-Петербург", 2010. – 560 с.
175. Барский А. Б. Параллельные информационные технологии / А. Б. Барский. – М. : Бином, 2007. – 503 с.
176. Эхтер Ш. Многоядерное программирование. / Ш. Эхтер, Д. Робертс. – СПб. : Питер, 2010. – 316 с.
177. Немнюгин С. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем / С. Немнюгин, О. Стесик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 400 с.
178. Гергель В. П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем / В. П. Гергель. – Н. : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010. – 421 с.
179. Hennessy J. L. Computer Architecture. A Quantitative Approach. / J. L. Hennessy, D. A. Patterson. – 4th Edition. – Amsterdam : Morgan Kaufmann Publ, 2006. – 704 p.
180. Корнеев В. В. Параллельное программирование в MPI / В. В. Корнеев. – Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 304 с.
181. Водяхо А. И. Высокопроизводительные системы обработки данных / А. И. Водяхо, Н. Н. Горнец, Д. В. Пузанков. – М. : Высшая

школа, 1997. – 304 с.

182. Джексон П. Экспертные системы / П. Джексон. – М. : Вильямс, 2001. – 609 с.

183. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. – 4-е издание. – М. : Вильямс, 2003. – 864 с.

184. Михайлов Б. М. Классификация и организация вычислительных систем : учебное пособие / Б. М. Михайлов, Р. Ф. Халабия. – М. : МГУПИ, 2010. – 144 с.

185. Bill Gates The Road Ahead. / Bill Gates, Nathan Myhrvold, Peter Rinearson – Viking, 1995. – 286 p.

186. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К. : Вища школа, 1986. – 238 с.

187. Синтез вычислительных алгоритмов управления и контроля / И. В. Кузьмин, Н. Т. Березюк, К. К. Фурманов, В. Б. Шаронов. – К. : Техника, 1975. – 248 с.

188. Палташев Т. Т. Растривание и распределенная обработка в системах генерации реалистических изображений / Т. Т. Палташев, С. И. Климина // Зарубежная радиоэлектроника. – 1992. – № 11. – С. 3–22.

189. Гриценко В. И. Информатизация как проблема / В. И. Гриценко // Управляющие системы и машины. – 2001. – № 6. – С. 3–8.

190. The Top500 List: Twenty Years of Insight into HPC Performance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.top500.org>.

191. Ивахненко А. Г. Структуры образного компьютера, основанного на принципе самоорганизации моделей, обладающих повышенным свойством обобщения / А. Г. Ивахненко // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 4. – С. 22–25.

192. Вінцюк Т. К. Образний комп'ютер / Т. К. Вінцюк // Сучасні проблеми в комп'ютерних науках : зб. наук. праць. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2000. – С. 5–14.

193. Рабинович З. Л. О естественных механизмах мышления и интеллектуализации ЭВМ / З. Л. Рабинович // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 5. – С. 82–88.

194. Рабинович З. Л. Представление и обработка знаний во взаимодействии сенсорной и языковой нейросистем человека / З. Л. Рабинович, Г. С. Воронков // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – № 2. – С. 3–11.
195. Капитонова Ю. В. О некоторых тенденциях развития и проблемах искусственного интеллекта / Ю. В. Капитонова, В. И. Скурихин // Кибернетика и системный анализ. – 1999. – №1. – С. 43–50.
196. Коваль В. Н. Развитие знаниеориентированных систем мультипроцессорной обработки информации на основе технологии интеллектуальных решающих машин / В. Н. Коваль, О. Н. Булавенко, З. Л. Рабинович // Штучний інтелект. – 2002. – № 3. – С. 242–257.
197. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г. С. Поспелов. – М. : Наука, 1988. – 274 с.
198. Сторож В. В. Ограничение классических подходов к распознаванию образов / В. В. Сторож // Штучний інтелект. – 2002. – № 3. – С. 172–187.
199. Schlesinger M. Ten Lectures on Statistical and Structural Pattern Recognition / M. Schlesinger, V. Hlavac. – Dordrecht–Boston–London: Kluwer Academic Publishers, 2002. – V. 24: Computational Imaging and Vision. – 520 p.
200. 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.
201. Адинец А. Графический вызов суперкомпьютерам / А. Адинец, Вл. В. Воеводин // Открытые системы. – 2008. – № 4. – С. 35–41.
202. GPU: эволюция [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический портал Overclockers.com.ua – Режим доступа: <http://www.overclockers.com.ua/video/gpu-evolution>.
203. GPGPU: General Purpose computations on Graphic Processing Unit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gpgpu.org>.

204. Тестируем GPU-заменители // Суперкомпьютеры. – 2012. – № 3(11). – С. 38–41.
205. NVIDIA – World Leader in Visual Computing Technologies [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/page/home.html>.
206. Introduction to the Cell multiprocessor. / J. A. Kahle, M. N. Day, H. P. Hofstee [та ин.] // IBM J. of research and development. – POWER5 and Packaging. – 2005. – V. 49, № 4/5. – P. 589–604.
207. Зюбин В. Многоядерные процессоры и программирование / В. Зюбин // Открытые системы. – 2005. – № 07–08. – С. 12–19.
208. Кластер на базе Tesla ускоряет научные исследования [Электронный ресурс] // Официальный сайт NVIDIA Corporation. – Режим доступа: http://www.nvidia.ru/object/io_1241767854048.html.
209. Acceleware выпустила первый в мире коммерчески доступный кластер на базе GPU NVIDIA [Электронный ресурс] // Журнал iXBT.com. – 2009. – № 10. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/news/all/index.shtml?10/63/33>.
210. Penguin выпустила кластер на NVIDIA Tesla GPU [Электронный ресурс] // Компьютерное обозрение. – 2009. – Режим доступа: <http://ko-online.com.ua/node/41548>.
211. Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation / N. G. Basov, E. M. Zemskov, Y. F. Kutaev et. al. // Proc. GCL/HPL-98 SPIE Symposium. – SPb (Russia), 1998. – P. 219–228.
212. Li Ta-Hsin. Time correlation analysis of a class of nonstationary signals with an application to radar imaging / Ta-Hsin Li, J. D. Gibson // IEEE Intl. Conf. Acoust., Speech and Signal Proc. (ICASSP97). – Munich (Germany). – 1997. – V. 5. – P. 3765–3769.
213. Разработка и исследование нейросетевых методов алгоритмов обработки аэрокосмических изображений / М. А. Аляутдинов, А. Н. Балухто, А. И. Галушкин, Л. Е. Назаров // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2006. – № 11/12. – С. 13–28.

214. Сегментація напівтонових зображень за ознакою зв'язності : монографія / А. Л. Железняк, Л. І. Тимченко, О. І. Стасюк [та ін.]. – К. : ДЕДУТ, 2008. – 144 с.
215. Engelberg S. Digital Signal Processing. An Experimental Approach / S. Engelberg. – 1st Edition. – New York, Springer, 2008, XVI – 212 p.
216. Метод организации параллельно-иерархической сети для распознавания образов / Л. И. Тимченко, В. В. Мельников, Н. И. Кокряцкая [и др.] // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 1. – С. 152–163.
217. Тимченко Л. И. Многоэтапная параллельно-иерархическая сеть как модель нейроподобной схемы вычислений / Л. И. Тимченко // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – № 2. – С. 114–134.
218. Параллельно-иерархической подход для обработки изображений / Л. И. Тимченко, Ю. Ф. Кутаев, М. А. Грудин [и др.] // Электронное моделирование. – 1999. – Т. 21, № 4. – С. 35–46.
219. Тимченко Л. І. Конвергентні та дивергентні процеси в реальних та штучних нейронних мережах / Л. І. Тимченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1997. – № 1. – С. 5–10.
220. О методе параллельно-иерархической обработки изображений / В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, И. Д. Ивасюк // Інформаційні технології та розпізнавання образів. Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів : праці міжнародного симпозіуму. – Львів-Харків-Тернопіль, 1993. – Т. 3. – 1993. – С. 38–43.
221. Параллельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту : монографія / В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свєчніков Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.
222. Александров В. В. Представление и обработка изображений: Рекурсивный поход / В. В. Александров, Н. Д. Горский. – Л. : Наука, 1985. – 192 с.
223. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : в 2-х кн. / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – Т.1. – 310 с., Т.2. – 790 с.
224. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. – М. : Высшая школа, 2009. – 735 с.

225. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор, Т. Скандьер. – М. : Вильямс, 2004. – 628 с.
226. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
227. Рашкевич Ю. М. Метод та НВІС-структури для прискореного обчислення базових операцій швидких алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень / Ю. М. Рашкевич, І. Г. Цмоць, А. Є. Батюк // Автоматика-2000 : матеріали Міжнародної конференція з автоматичного управління. – Львів, 2000. – Ч. 2. – С. 208–211.
228. Иерархическая обработка изображений и пирамидальные системы / К. Ю. Воробьев, Г. Н. Тимонькин, В. С. Харченко, В. А. Мельников // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 7. – С. 51– 61.
229. Мусман С. Г. Достижения в области кодирования изображений / С. Мусман, П. Пирш, Х. Граллерт // ТИИЭР. – 1985. – Т. 73, № 4. – С. 23–54.
230. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов. / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2006. – 856 с.
231. Зиатдинов Ю. К. Теория и практика многокритериальных решений: модели, методы, реализация : монография / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиатдинов. – Saarbrucken, Deutschland : LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 305 с.
232. Хорн Б. Зрение роботов / Б. Хорн. – М. : Мир, 1989. – 487 с.
233. Яцимірський М. М. Швидкі алгоритми ортогональних тригонометричних перетворень / М. М. Яцимірський. – Львів : Академічний Експрес, 1997. – 219 с.
234. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Рао. – М. : Связь, 1980. – 248 с.
235. Прокис Дж. Цифровая связь. / Дж. Прокис. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
236. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М., СПб., К. : Вильямс, 2008. – 992 с.

237. Параллельно-иерархические сети : монографія / Л. И. Тимченко [и др.]. – К. : Віпол, 2010. – 653 с.
238. Корн Г. Справочник по математике. / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 668 с.
239. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. / М. Я. Выгодский. – М. : Физ.-мат. литература, 1962. – 870 с.
240. Компьютеры на СБИС : в 2-х кн. / Т. Мотоока, Х. Хрикоси, М. Сакаути [и др.]. – М. : Мир, 1988. – Кн. 1. – 392 с.
241. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ : в 3 т. / Д. Кнут. – М. : Мир, 1978. – 844 с.
242. Гренандер У. Лекции по теории образов. Анализ образов. / У. Гренандер. – М. : Мир, 1981. – 448 с.
243. Погребной В. А. Бортовые системы обработки сигналов / В. А. Погребной. – К. : Наукова думка, 1984. – 216 с.
244. Ваврук Є. Я. Метод діагностики бортових систем цифрової обробки сигналів / Є. Я. Ваврук, Ю. М. Рашкевич, І. Г. Цмоць // Моделювання та інформаційні технології : збірник наук. праць ІПМЕ НАН України. – К., 2000. – Вип. 6. – С. 179–182.
245. Грицик В. В. Методологія системного проектування нейрокомп'ютерних засобів мобільних робототехнічних систем / В. Грицик, І. Цмоць, В. Теслюк // Доповіді Національної академії наук України. – 2013. – № 1. – С. 30–36.
246. Стахов А. П. Коды золотой пропорции / А. П. Стахов. – М. : Радио и связь, 1984. – 152 с.
247. Bryukhovich E. Automatic control and performance of computer systems / Bryukhovich E. // Control systems and machines. – 1979. – № 4. – P. 71–75.
248. Метлицкий Е. А. Системы параллельной памяти: Теория, проектирование, применение. / Е. А. Метлицкий, В. В. Каверзнев. – Л. : Ленинградский университет, 1989. – 240 с.
249. Словарь по кибернетике / под ред. В. С. Михалевича. – 2-е изд. – К. : Гл. ред. УСЭ, 1989. – 751 с.
250. Hinton D. Mapping Part - Whole Hierarchies into Connectionist Networks / D. Hinton // Artificial Intelligence. – 1990. – V. 46, № 1–2. – P. 45–75.

251. MSDN Library. DateTime.Ticks Property. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.datetime.ticks.aspx>.
252. Dean J. MapReduce: Simplified data processing on large clusters. / J. Dean, S. Ghemawat // Proceedings of the Sixth Conference on Operating System Design and Implementation. – Berkeley, CA, 2004. – P. 137–149.
253. Hadoop DB: An Architectural Hybrid of MapReduce and DBMS Technologies for Analytical Workloads / A. Abouzeid, K. Bajda-Pawlikowski, D. Abadi [та ін.] // Proceedings of the 35th VLDB Conference. – Lyon, France, 2009. – P. 12–19.
254. Lam C. Hadoop in Action [1st ed.]. / Lam C. – Manning Publications. – 2010. – 325 p.
255. Кормен Т. Алгоритмы. Построение и анализ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – СПб. : Вильямс, 2012. – 1296 с.
256. Корнеев В. Современные микропроцессоры : учебное пособие [для студ. высш. учебн. зав.] / В. Корнеев, А. Киселев. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.
257. Скрибцов П. В. Сравнение производительности графических ускорителей и центрального процессора при вычислениях для больших объемов обрабатываемых данных / П. В. Скрибцов, А. В. Долгополов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение – 2007. – № 9. – С. 421–425.
258. Аляутдинов М. А. Использование графических процессоров с параллельной архитектурой для построения масштабируемых нейрокомпьютерных конфигураций / М. А. Аляутдинов, А. И. Галушкин, Г. В. Троепольская. – Нейрокомпьютеры. – 2006. – № 8–9. – С. 18–28.
259. Owens J. A survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware. / J. Owens, D. Luebke, N. Govindaraju [та ін.]. – New York, Eurographics : State of the Art Reports. – 2005. – P. 21-51.
260. Персональный суперкомпьютер ARBYTE SC [Электронный ресурс] // Официальный сайт ARBYTE Computers. – Режим доступа: <http://www.arbyte.ru/products/HPC/supercomputer.shtml>.
261. Optimized Simulation Framework for Spiking Neural Networks using GPU's / R. Mirsu, S. Micut, C. Căleanu, D. B. Mirsu //

Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2012. – V. 12, № 2. – P. 61–68.

262. Применение нейросетевых методов слияния данных в задаче экстраполяции функций с аппаратной поддержкой вычислений / Нгуен Виет Хунг // XIV всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2012 : сборник научных трудов. – М. : МИФИ, 2012. – Ч. 2. – С. 82–91.

263. Суперкомпьютеры на GPU входят в пятерку ведущих суперкомпьютеров мира. – PC Magazine/Russian Edition. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://newsdesk.pcmag.ru/node/30219>.

264. Кривов М. А. Тестируем GPU-заменители / М. А. Кривов // Суперкомпьютеры. – 2012. – Вып. «Осень-2012». – С. 38–41.

265. AMD/ATI StreamComputing SDK – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ati.amd.com/technology/streamcomputing/index.html>.

266. Объектно-ориентированный подход к шейдерам – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dtf.ru/articles/read.php?id=47296&DTFSESSID=fc58ce864752390b052fd34c3fc1f000>.

267. AMD Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amd.com/uk/products/technologies/Pages/technologies.aspx>

268. NVIDIA GeForce GTX 590 vs. AMD Radeon HD 6990 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/video3/gf110-5-part1.shtml>.

269. NVidia CUDA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nvidia.com/object/cuda_home.html.

270. RapidMind [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rapidmind.net>.

271. QML Reference Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://qt-project.org/>.

272. Набір мікротестів швидкодії відеокарт у задачах загального призначення [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://graphics.stanford.edu:80/projects/gpubench>.

273. Жогов Н. С удвоенной силой. Обзор технологий NVIDIA SLI и ATI CrossFire / Н. Жогов // ЛКИ. – № 4. – 2008. – С. 3–5.

274. Зіатдінов Ю. К. Принципи проектування програмного

забезпечення оперативного контролю польотів повітряних суден / Ю. К. Зіатдінов., О. І. Малежик, О. С. Остапенко. – К. : НАУ, 2008. – 116 с.

275. Шутов А. М. Методы оптической астрополяриметрии. / А. М. Шутов. – М. : КомКнига, 2006. – 232 с.

276. C.V. Roundy Current Technology of Laser Beam Profile Measurements. / C.V. Roundy – Spiricon. Inc., 2000. – 290 p.

277. Roundy C. V. The importance of beam profile. / C. V. Roundy // Physics World. – 1990, July. – P. 65–66.

278. Coherent Inc.: Manufacturer of Lasers: World Leader in Photonics. Mode of access: World Wide Web. URL: <http://www.coherent.com>.

279. Потёмкин Ф. В. Измерение пространственных характеристик лазерного пучка / Ф. В. Потёмкин, П. М. Михеев // Измерения и автоматизация 2006 : труды конференции. – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006. – С. 68–73.

280. Choosing a Laser Beam Profiler / Photon Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.photon-inc.com/support/library/pdf/choosing.pdf>.

281. BeamView Digital Analyzer / Coherent Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.coherent.com/Lasers/index.cfm?fuseaction=show.page&id=275&loc=830>.

282. Laser Beam Profiling / PhaseView – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.phaseview.com/en/index_3.

283. Бойко Р. В. Быстродействующий метод вычисления моментных признаков при обработке изображений / Р. В. Бойко, В. А. Комаров, В. Г. Красиленко // Автометрия. – 1989. – № 6. – С. 16-22.

284. Талёб М. А. О сегментации цветных изображений / М. А. Талёб, В. В. Старовойтов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. технические науки. – Минск, 2000. – № 1. – С. 107–111.

285. Засоби моніторингу систем електропостачання залізниць [Електронний ресурс] / В. Л. Тутик, Ю. В. Пилипенко, Р. Б. Каменський [та ін.] // Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'11) : збірник наукових праць II Міжнародної конференції. – Режим доступу: <http://www.ess.kpi.ua/index.php/en/archive/past-conferences/ess10-2?layout=edit&id=55>.

286. Программное обеспечение для учета и администрирования сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sdl.ru>.
287. Krivulya G. F. Diagnostic Data Storage and Processing Using Axeda Platform. / G. Krivulya, Y. Syrevitch // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 4. – С. 63–66.
288. Terplan K. OSS essentials: support system solutions for service providers / K. Terplan. – John Wiley. – 2001. – 610 p.
289. System Developments Labs. Cross Pro v.7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sdl.ru/crossprov7.html>.
290. Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (АТМ, РДН, SDH, SONET и WDM) / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2000. – 468 с.
291. Соколинский Л. Б. Параллельные системы баз данных / Л. Б. Соколинский. – М. : Издательство Московского университета, 2012. – 179 с.
292. Костенецкий П. С. Моделирование иерархических многопроцессорных систем баз данных / П. С. Костенецкий, Л. Б. Соколинский. – LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 116 с.
293. Kostenetskii P. S. Simulation of Hierarchical Multiprocessor Database Systems / P. S. Kostenetskii, L. B. Sokolinsky // Programming and Computer Software. – 2013. – V. 39, № 1. – P. 10–24.
294. Костенецкий П. С. Моделирование иерархических многопроцессорных систем баз данных / П. С. Костенецкий, Л. Б. Соколинский // Программирование. – 2013. – Т. 39, № 1. – С. 2–33.
295. Accelerating SQL Database Operations on a GPU with CUDA: Extended Results [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cs.virginia.edu/~skadron/Papers/bakkum_sqlite_tr.pdf.
296. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
297. Минахметов Р. М. Интеграция алгоритма кластеризации Fuzzy c-Means в PostgreSQL / Р. М. Минахметов, М. Л. Цымблер // Вычислительные методы и программирование. Новые вычислительные технологии. – 2012. – Т. 13. – С. 46–52.

Наукове видання

Яровий Андрій Анатолійович

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОРГАНІЗАЦІЇ
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ПАРАЛЕЛЬНО-
ІЄРАРХІЧНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ
ІЗ РЕКУРСИВНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено А. Яровим

Верстка – А. Яровий

Підписано до виготовлення 16.12.2016 р.

Системні вимоги:

процесор Pentium; 512 Mb RAM;

Windows XP, 7, 8; Acrobat Reader 6.0.

Один електронний оптичний диск (CD-ROM); Обсяг даних 7,6 Мб.

Наклад 100 (1-й запуск 1–30) прим. Зам. № E2016-06

Видавець та виготовлювач – Вінницький національний технічний університет,

Комп'ютерний інформаційно-видавничий центр Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ,

ГНК, к. 114, м. Вінниця, 21021, тел.: (0432) 59-85-32, 59-81-59.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.