

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Т. Б. Мартинюк**

***Рекурсивні алгоритми  
багатооперандної обробки інформації***

**Монографія**

«УНІВЕРСУМ-Вінниця»  
2000

УДК 681.3 : 519.7

ББК 32.97

М29

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор **В. П. Тарасенко**

доктор технічних наук, професор **А. М. Петух**

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти України (протокол №5 від 30.12.99)

**Мартинюк Т. Б.**

**М29 Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації.**

Монографія. – Вінниця: “Універсум-Вінниця”, 2000. - 216 с.

Іл.: 66. Бібліогр.: 106 назв.

ISBN 966-7199-98-3

Монографія присвячена дослідженню рекурсивних алгоритмів для багатооперандної обробки інформації, які є результатом подальшого розвитку методу паралельної порогової обробки масивів числової інформації. Однією із можливих областей застосування запропонованих алгоритмів є реалізація оператора групового підсумовування чисел, який є складовою більшої частини алгоритмів обробки сигналів і зображень. Монографія містить необхідні відомості щодо аналізу і дослідженню властивостей, функціональних можливостей і ефективності алгоритмів багатооперандної обробки з використанням принципу різницевого зрізів, а також результати відображення алгоритмів на матричній структурі. Серед областей перспективного використання запропонованих алгоритмів можна відзначити обробку і аналіз зображень та розпізнавання образів з орієнтацією на нейронні та нейроподібні мережі із застосуванням оптоелектронних компонентів комутації.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються розробкою та реалізацією паралельних методів обробки масивів інформації з орієнтацією на однорідні матричні структури.

УДК 681.3 : 519.7

ISBN 966-7199-98-3

© Т. Мартинюк, 2000

## Зміст

Вступ.....	7
1 Аналіз способів реалізації оператора групового підсумовування.....	11
1.1 Група способів почислового обчислення оператора групового підсумовування .....	12
1.2 Часові характеристики багаторозрядного паралельного суматора.....	26
1.3 Група способів порозрядного обчислення оператора групового підсумовування .....	29
1.4 Порівняльний аналіз апаратурних і часових витрат способів реалізації оператора групового підсумовування .....	44
1.4.1 Якісна характеристика паралельних алгоритмів .....	58
1.5 Аналіз методів багатооперандної обробки інформації.....	67
1.6 Алгоритм підсумовування з використанням різницевих зрізів....	71
Висновки .....	78
2 Принципи організації паралельної (багатооперандної) арифметично-логічної обробки інформації.....	79
2.1 Алгоритм багатооперандного додавання-віднімання числових величин .....	80
2.2 Теорема багатооперандного додавання числових величин .....	84
2.3 Теорема багатооперандного віднімання числових величин .....	87
2.4 Теорема відновлення початкової множини числових величин ....	90
2.5 Теорема відновлення проміжної множини числових величин ....	92
2.6 Алгоритм відновлення початкової групи числових величин.....	94
2.7 Теорема зворотного багатооперандного додавання числових..... величин	98
2.8 Теорема відповідності проміжних множин числових величин і множин, що відновлюються .....	102

2.9	Теорема зворотного багатооперандного віднімання числових величин .....	103
2.10	Теореми визначення екстремальних числових величин у початковій і проміжній множинах .....	105
2.11	Теорема відновлення початкових числових величин .....	109
2.12	Алгоритм сортування (вибірки) числових величин .....	110
2.13	Узагальнення математичних моделей багатооперандної обробки з використанням різницевих зрізів .....	113
2.14	Дослідження моделей паралельних алгоритмів додавання числового масиву .....	115
Висновки .....		126
3	Відображення алгоритмів багатооперандної обробки інформації на матричні однорідні структури .....	128
3.1	Граф залежностей для базового алгоритму вибірки мінімальної величини в групі числових величин .....	132
3.2	Графи залежностей для базового алгоритму формування різницевих зрізів і суми групи числових величин .....	136
3.2.1	Алгоритм формування різницевих зрізів числових величин .....	137
3.2.2	Алгоритм формування суми групи числових величин .....	137
3.3	Граф залежностей для базового алгоритму відновлення різницевих зрізів числових величин .....	142
3.4	Граф залежностей для алгоритму багатооперандного додавання-віднімання числових величин .....	148
3.5	Графи залежностей для алгоритму багатооперандної обробки інформації .....	152
3.6	Проекція в граф потоку сигналів з лінійними призначенням і плануванням .....	154

3.6.1	Алгоритм вибірки мінімальної величини в групі числових величин .....	159
3.6.2	Алгоритм формування різницевих зрізів числових величин.....	163
3.6.3	Алгоритм формування суми групи числових величин.....	165
3.6.4	Алгоритм відновлення початкової групи числових величин.....	167
3.6.5	Алгоритм багатоперандного додавання-віднімання числових величин .....	167
3.6.6	Алгоритм багатоперандної обробки інформації .....	169
3.7	Конвеєрний процесор для підсумовування масиву чисел.....	171
3.8	Моделювання конвеєрного процесу підсумовування масиву чисел.....	173
3.9	Дослідження ефективності алгоритмів паралельного додавання масиву чисел.....	178
3.9.1	Структурно-інформаційна складність алгоритмів паралельного додавання масиву чисел.....	184
3.10	Області перспективного застосування алгоритмів обробки інформації з використанням різницевих зрізів.....	193
	Висновки.....	202
	Література.....	204

## Перелік скорочень

АЗП	– асоціативний запам'ятовувальний пристрій
БВОС	– багатовхідний однорозрядний суматор
В	– вентиль
ГЗ	– граф залежностей
ГПС	– граф потоку сигналів
ЗП	– запам'ятовувальний пристрій
ЕПО	– елемент порогової обробки
КП	– керувальний пристрій
Лч	– лічильник
ЛЧК	– логіко-часовий код
МАС	– помножувач з накопичувачем
МВР	– мова високого рівня
МКМД (MIMD)	– множинні потоки команд і даних
ОКМД (SIMD)	– одиночний потік команд, множинний потік даних
ОП	– одноктактний помножувач
ОС <sub>м</sub>	– однорозрядний суматор
ПЕ	– процесорний елемент
ПЕОМ	– паралельна електронна обчислювальна машина
ПЗП	– постійний запам'ятовувальний пристрій
ПРЗ	– принцип різницевих зрізів
Рг	– регістр
РЗ	– різницевий зріз
РІА	– регулярний ітераційний алгоритм
С <sub>м</sub>	– суматор
Т	– тригер
ЦДЗ	– цифрова двовимірна згортка

## Вступ

Проблема досягнення високої ефективності обробки сигналів і зображень залишається актуальною, оскільки потреба у швидких і високопродуктивних засобах обробки інформації не зменшується, а зростає у зв'язку з розповсюдженням комп'ютерних технологій. Разючі результати новітніх технологій в області елементної бази (як приклад, трансп'ютери та програмовані логічні інтегральні схеми - ПЛІС) дають можливість реалізувати не тільки нові алгоритми обробки інформації, але й повернутись до розгляду і вдосконалення вже відомих методів, які в свій час не знайшли застосування через обмеженість елементної бази [1-3].

Особливий ефект методи розпаралелювання алгоритмів дають в процесі обробки зображень, оскільки останні являють собою двовимірний масив даних, для якого природною є паралельна обробка його елементів [4, 5]. Тому методи дискретної лінійної двовимірної обробки не втрачають своєї актуальності. Разом з відомими методами двовимірних перетворень Фур'є, Адамара, Карунена-Лоєва [6] знаходять подальший розвиток паралельні методи з ієрархічною обробкою інформації [7,8]. В одному з таких паралельно-ієрархічних методів знайшов своє подальше втілення відомий спосіб паралельної обробки групи операндів [9]. Спочатку цей спосіб був детально досліджений для реалізації на оптоелектронній елементній базі, тому для відображення операндів було застосовано логіко-часове кодування [10,11], а сам спосіб пропонувався для паралельного підсумовування тривалостей групи часових інтервалів [12], тобто для аналогових сигналів. Але подальші дослідження довели універсальність цього способу, тобто його інваріантність до використаної елементної бази та способу кодування інформації [13]. Суть цього способу полягає в тому, що послідовно у кожному циклі обробки всі елементи масиву зменшуються на загальну компоненту

(загальний складник серед всіх елементів, що додатні і не дорівнюють нулю), тобто у кожному циклі формується різницевий зріз (РЗ) всіх елементів масиву. Разом з тим виконується накопичення загальних компонент всіх елементів масиву у кожному циклі, що дозволяє після завершення обробки отримати суму елементів вхідного числового масиву. Дослідження показали, що в якості компонентів, які застосовуються для формування РЗ, тобто кроків квантування, можуть використовуватись не лише загальні складники елементів масиву, як у попередньому прикладі. Ці величини можуть бути константами не тільки у кожному циклі, але й протягом всього процесу обробки (у всіх циклах) [14], а також можуть змінюватись у кожному циклі за визначеним правилом [15]. Тобто пропонуються модифіковані варіанти паралельних перетворень вхідної інформації з використанням елементів порогової обробки [15,16]. Це дозволяє перейти від простих процедур обробки інформації – наприклад, просторового підсумовування у нейронних мережах [13], до складних процедур обробки і аналізу зображень [14] та розпізнавання образів [15,17].

У даній роботі детально досліджується варіант паралельної обробки масивів числової інформації, результатом якої є формування суми всіх елементів масиву, причому масив розглядається як вектор, що містить  $n$  елементів, кожний з яких є  $m$  – розрядним числом. Вибір для дослідження операції підсумовування масиву чисел обумовлений тим, що вона є постійною складовою більшості алгоритмів обробки сигналів і зображень [1-6], в яких позначається як оператор групового підсумовування. Особливістю цієї операції є те, що вона належить до інтегральних операцій [18] і має суттєвий недолік – низький рівень паралелізму у порівнянні з досяжним високим паралелізмом алгоритмів обробки сигналів і зображень [1,19]. Останні публікації показали перспективність застосування принципів багатооперандної обробки інформації або макрооператорної організації



обчислень при реалізації інтегральних операцій і, зокрема, під час паралельного підсумовування множини операндів [20,21].

Відомі швидкодіючі підсумовуючі пристрої, які є важливими компонентами будь-якого процесора або процесорного елемента, досліджені достатньо повно [18]. Але необхідно відзначити, що при реалізації суматорів акцент робився на розробку пристроїв, що виконують одночасно підсумовування однієї пари операндів, тобто орієнтовані на реалізацію бінарної операції. Тому навіть у багатьох швидкодіючих підсумовуючих пристроях, наприклад, у багаторегістрових, що застосовують конвеєрний принцип обробки [22], реалізується одночасне виконання бінарної операції підсумовування над множиною пар операндів.

Специфікою багатооперандної (групової, багатомісної) обробки є те, що операції або набір операцій виконуються в єдиному операційному циклі над блоком даних, кількість яких завжди більше двох [23]. Але перед аналізом методів багатооперандного підсумовування масиву даних доцільно розглянути всі відомі способи реалізації оператора групового підсумовування [19]. Тому перший розділ присвячений дослідженню математичних моделей можливих способів реалізації оператора групового підсумовування. Аналіз наведених моделей дозволив визначити місце, яке займають способи паралельного підсумовування на принципах багатооперандності, у відомих класифікаціях.

У другому розділі розглядаються основні положення багатооперандної обробки інформації з використанням РЗ. Можливості способу паралельної обробки інформації на принципах РЗ сформульовані у вигляді ряду теорем, які дають можливість не тільки скласти алгоритми багатооперандного додавання-віднімання групи числових величин та відновлення початкової групи цих величин, але й довести властивість багатофункціональності обробки інформації на принципах РЗ. Крім того, необхідно відзначити наявність можливості реалізації операції сортування

(вибірki) числових величин, тобто виконання масових інформаційно-логічних операцій, таких як пошук максимуму, мінімуму, пошук за заданим інтервалом, пошук найближчого числа та інші, що значно поширює область застосування запропонованого способу паралельної обробки інформації.

Розділ третій містить конкретні приклади відображення пропонованих алгоритмів багатооперандної обробки на лінійний систолічний масив. Наводиться структурна схема конвеєрного процесора, на якому реалізується паралельний алгоритм підсумовування масиву чисел, а також досліджується ефективність відомих паралельних методів обробки числової інформації.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників у галузі обчислювальної техніки, програмування та паралельної обробки сигналів і зображень, які знайомі із станом і тенденціями розвитку систем обробки цифрової інформації, а також на студентів і аспірантів відповідних спеціальностей.

Автор висловлює щире подяку академіку, проф. Б.І. Мокіну за підтримку та конструктивні поради і проф. В.П. Кожем'яці за плідне обговорення результатів та критичні зауваження в процесі роботи над монографією. Автор хоче висловити подяку рецензентам проф. В.Л. Тарасенку і проф. А.М. Петуху, доброзичливе ставлення та поради яких сприяли покращенню змісту та структури монографії. Необхідно підкреслити велику допомогу, яку надали авторові в процесі комп'ютерного набору тексту О. Л. Шеляков, М. Б. Нізельський, І. В. Тимофіїв, Ю.В. Васюра, А.В. Кожем'яко, а при оформленні графічного матеріалу А.В. Зволейко і Я.О. Гальченко. Особливо автор хоче відзначити Т.А. Ягельську за її поради та допомогу при редагуванні цієї монографії.

для нейронних і нейроподібних мереж із навчанням і самонавчанням. У зв'язку з цим перспективними для фізичного моделювання нейронних мереж вважаються оптичні та оптоелектронні структури, що використовують багатопланові інтегрально-оптичні тривимірні схеми (3 – D OIC) для реалізації багатоканальних обчислювальних пристроїв [99 – 102]. Наведені у даній роботі результати були запроваджені при виконанні ряду держбюджетних тем згідно із планом наукових досліджень Вінницького політехнічного, а потім Вінницького державного технічного університету [103 – 106].

## Висновки

1. Використання методології С.Куна для відображення алгоритмів на матричні структури і, зокрема, її першого етапу, що пов'язаний із побудовою ГЗ, у застосуванні до алгоритмів багатооперандної обробки інформації дозволяє представити їх у вигляді відповідних локально-рекурсивних алгоритмів з наступною побудовою ГЗ.
2. Завдяки наявності в алгоритмах багатооперандної обробки операцій вибірки мінімальної величини і підсумовування, які мають властивість асоціативності, існує можливість об'єднання в узагальнений алгоритм багатооперандної обробки інформації всіх базових алгоритмів, а саме, алгоритмів вибірки мінімальної величини в групі числових величин, формування різницевих зрізів і суми групи числових величин, а також алгоритму відновлення різницевих зрізів числових величин.
3. Крім того, наявність властивості асоціативності у основних операцій багатооперандної обробки дає можливість отримати варіанти ГЗ для алгоритмів формування суми групи числових величин багатооперандного додавання-віднімання і багатооперандної обробки

інформації у вигляді спірального і локалізованого ГЗ, що дозволяє на наступних етапах методології відображення алгоритмів на матричні структури здійснювати вибір відповідного варіанта реалізації з урахуванням певного критерію ефективності.

4. На другому етапі канонічного відображення алгоритмів на матричні структури в процесі витягу ГПС з ГЗ шляхом проекції урахування сумісності і реальності виконання базових алгоритмів багатооперандної обробки інформації дозволило обґрунтувати вибір одного напрямку проекції в ГПС з трьох можливих і отримати ГПС для всіх розглянутих алгоритмів багатооперандної обробки інформації.
5. Серед методів оцінювання ефективності алгоритмів розпаралелювання послідовних задач перевагу слід віддавати методам, що враховують взаємозв'язок між паралелізмом задачі та паралелізмом запропонованої для реалізації цієї задачі структури, тобто пари "алгоритм-структура". Таким можна вважати метод, що використовує коефіцієнт узгодження.
6. Серед областей перспективного застосування алгоритмів обробки масивів чисел з використанням ПРЗ слід відзначити як обробку і аналіз сигналів і зображень, так і розпізнавання образів, особливо в разі застосування методів порогової обробки з орієнтацією на нейронні та нейроподібні мережі.

## Література

1. Кун С. Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 672 с.
2. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов: Пер. с англ. /Под ред. С. Гуна, Х. Уайтхауса, Т. Кайлата. – М.: Радио и связь, 1989. – 472 с.
3. Системы параллельной обработки: Пер. с англ./Под ред. Д.Ивенса. – М.: Мир, 1985. – 416 с.
4. СБИС для распознавания образов и обработки изображений: Пер. с англ./ Под ред. К. Фу. – М.: Мир, 1988. – 248 с.
5. Очин В. Ф. Вычислительные системы обработки изображений. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.
6. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – Кн.1. – 312 с.
7. 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.
8. Тимченко Л.И., Мартынюк Т.Б., Загоруйко Л.В. Подход к организации многоуровневой схемы систолических вычислений// Электронное моделирование. – 1988. – Т.20. - №5. – С. 33 – 42.
9. Свечников С.В., Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико – временного типа. – К.: Наукова думка, 1987. – 256 с.
10. Кожемяко В.П. Оптоэлектронные логико – временные информационно – вычислительные среды. – Тбилиси: Мецниереба, 1984. – 359 с.

11. Натрошвили О.Г., Кожемяко В.П., Саникидзе Д.О. Организация оптоэлектронных некогерентных процессоров ЦВМ. - Тбилиси: Ганатлеба, 1989. – 512 с.

12. А. с. 1119035 СССР, МКИ G 06 G 7/14, Способ параллельного сложения длительностей группы временных интервалов/ В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко, Т.В. Головань, Н.Е. Фурдияк, Т.Б. Мартынюк (СССР). - №3528309/18; Заявлено 24.12.82; Оpubл. 15.10.84, Бюл. №38.

13. Timchenko L., Grudin M., Martynyuk T., Kozhemyako A. Parallel transformation // УСиМ. – 1999. - №5. – С. 93 – 95.

14. Сегментація багатоградаційних зображень на основі ознак просторової зв'язності/ Л.І. Тимченко, Я.Г. Скорюкова, С.М. Марков, Я.О. Гальченко// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - №4. – С. 39 – 44.

15. Компактний опис моделей зображень для класифікації образів/ Л.І. Тимченко, Ю.Ф. Кутаєв, С.В. Чепорнюк, О.А. Герций, О.В. Бурдейна// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - №2. – С. 72 – 83.

16. Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Кутаєв Ю.Ф., Івасюк І.Д. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Ч.2. Основи теорії пірамідально – сітьового перетворення зображень: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 272 с.

17. Загоруйко Л.В., Тимченко Л.І. Семантичний підхід до створення просторових нейронних мереж// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. - №1.- С. 23 – 29.

18. Карцев М.А., Брик В.А. Вычислительные системы и синхронная арифметика. -- М.: Радио и связь, 1981. -- 360 с.

19. Справочник по цифровой вычислительной технике/ Под ред. В.Н. Малиновского. – К.: Техніка, 1980. – 320 с.

20. Гамаюн В.П. О развитии многооперандных вычислительных структур// УСиМ. – 1990. – №4. – С. 31 – 33.

21. Гамаюн В.П. Организация макрооператорной обработки в многооперандных вычислительных структурах// УСиМ. –1995. – №6. – С. 17 – 24.

22. Самофалов К.Г. и др. Структуры ЭЦВМ четвертого поколения. – К.: Техніка, 1972. – 256 с.

23. Гамаюн В.П. Способ ускоренного преобразования многорядного кода в однорядный// УСиМ. –1995. – №4/5. – С.10 – 14.

24. Методы структурной реализации оператора группового суммирования/ Мартынюк Т.Б., Лысенко Г.Л., Буда А.Г., Король О.В.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1996. – 57 с. Деп. в ГНТБ Украины 12.12.96, №2383 – Ук 96.

25. Майоров С.А., Новиков Г.И. Структура электронных вычислительных машин. – Л.: Машиностроение, 1979. – 384 с.

26. Справочник по цифровой схемотехнике/ В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Б. Шкуро. – К.: Техніка, 1990. – 448 с.

27. Схемотехника/ Под ред. Г.Н. Соловьева. – М.: Высшая школа, 1985. – 391 с.

28. Аperiodические автоматы/ Под ред. В.И. Варшавского. – М.: Наука, 1976. – 424 с.

29. Рабинович З.Л., Раманаскас В.А. Типовые операции в вычислительных машинах. – К.: Техніка, 1980. – 264 с.

30. Мартинюк Т.Б. Порівняльний аналіз способів реалізації оператора групового підсумовування// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - №3. – С. 48 – 52.

31. Шпаковский Г.И. Архитектура параллельных ЭВМ. - Минск: Университетское, 1989. – 192 с.

32. Кожем'яко В.П., Мартинюк Т.Б., Тимченко Л.І. Дослідження методів реалізації оператора групового підсумовування// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1997. - №1.- С. 123 – 129.

33. Мартинюк Т.Б., Аль – Хіяри М.М., Кожем'яко А.В. Аналіз математичних моделей оператора групового підсумовування// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. - №1.- С. 11 – 122.

34. А.с. 554537 СССР, МКИ G 06 7/385. Устройство для п – разрядных чисел массива/ В.П. Боюн, А.В. Писарский (СССР). - №1922432/24; Заявлено 18.05.73; Оpubл. 15.04.77, Бюл. №14.

35. А.с. 1396139 СССР, МКИ G 06 F 7/50. Суммирующее устройство/ О.Г. Кокаев, В.С. Кисленко, Амехо Давид, Л.А. Жигач (СССР). - №4149955/24; Заявлено 20.11.86; Оpubл. 15.05.88, Бюл. №18.

36. А.с. 1424011 СССР, МКИ G 06 F 7/50. Ассоциативное суммирующее устройство/ М.- М.А. Исмаилов, И.А. Айдемиров, А.А. Зухраев, И.А. Магомедов (СССР). - №4165174/24; Заявлено 23.12.86; Оpubл. 15.09.88, Бюл. №34.

37. Донченко С.Б., Матвеев Ю.Н., Очин Е.Ф. Принципы организации параллельных процессоров цифровой свертки изображения// Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. - №7. – С. 84 – 102.

38. Храпченко В.М. Об одном способе преобразования многорядного кода в однорядный// ДАН СССР. – 1963. – Т. 148. - №2. – С. 296–299.

39. Гамаюн В.П. Организация вычислений при разрядно – логарифмическом представлении данных// УСиМ. –1996. – №3. – С. 3 – 7.

40. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах: Планирование и организация. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.



41. Михайлов С.А. Проектирование матричных СБИС. – К.: Техніка, 1991. – 140 с.
42. Джагадиш Х.В., Рао С.К., Кайлат Т. Матричные структуры для реализации итерационных алгоритмов// ТИИЭР. – 1987. – Т. 75. - №9. – С. 184 – 203.
43. Самофалов К.Г., Луцкий Г.М. Основы теории многоуровневых конвейерных вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
44. Мартинюк Т.Б. Визначення оптимальної математичної моделі для оператора групового підсумовування// Праці V НТК “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. - Хмельницький: НВП “Еврика” ТОВ, 1998. – С. 60 – 66.
45. Оптоэлектронная схемотехника: Учеб. пособие/ В.П. Кожемяко, О.Г. Натрошвили, Т.Б. Мартынюк, Л.Ш. Имнаишвили. – К.: УМК ВО, 1988. – 276 с.
46. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники: Учеб. пособие/ В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко, Г.Л. Лысенко, Ю.Ф. Кутаев. - К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.
47. Возможности единичного кодирования информации/ Мартынюк Т.Б.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1995. – 22 с. Деп. в ГНТБ Украины 10.06.95, №1476 – Ук 95.
48. Исследование функционально полного набора элементарных операций для обработки информации с нетрадиционным кодированием/ Мартынюк Т.Б., Тимченко Л.И., Лишинская Л.Б., Шолота В.В.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1996. – 28 с. Деп. в ГНТБ Украины 26.11.96, №2264 – Ук 96.
49. Анализ базовых элементов регулярных логико – временных сред/ Мартынюк Т.Б., Кожемяко А.В., Мартынович Е.Н., Андрущенко В.И.,

Фофанова Н.В.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1997. – 41 с. Деп. в УкраинТЭИ 12.12.97, №571 – Ук 97.

50. Мартинюк Т.Б., Тарасова О.М., Аль – Хіярі М.М. Особливості логіко – часового зображення числової інформації// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. - №1.- С. 72-76.

51. Мартинюк Т.Б., Аль – Хіярі М.М., Василецький С.А. Функційна повнота логічно – часового принципу зображення інформації// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. - №2.- С. 48-52.

52. Математична модель алгоритму паралельної обробки інформації/ Л.І. Тимченко, Т.Б. Мартинюк, Л.В. Загоруйко, О.А. Герций, А.В. Кожем'яко// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. - №2.- С. 20 – 23.

53. Кожемяко В.П., Мартынюк Т.Б., Заболотная Н.И. Системный анализ параллельных оптоэлектронных процессоров. – Львов,1992. – 118 с. (Препринт/ АНУ. Ин – т. ППММ; №10(300)).

54. А.с. 1136148 СССР, МКИ G 06 F 7/50. Устройство для алгебраического сложения чисел/ В.П. Кожемяко, Т.Б. Мартынюк, Т.В. Головань, Л.И. Тимченко (СССР). - №3564526/24; Заявлено 18.03.83; Опубл. 23.01.85, Бюл. №3.

55. А.с. 1136157 СССР, МКИ G 06 F 7/56. Оптоэлектронное устройство вычитания десятичных чисел/ С.А. Майоров, В.П. Кожемяко, Т.Б. Мартынюк, Л.И. Тимченко (СССР). - №3642753/24; Заявлено 16.09.83; Опубл. 23.01.85, Бюл. №3.

56. Особенности ассоциативной обработки информации с нетрадиционным кодированием/ Мартынюк Т.Б., Мартынович Е.Н., Андрущенко В.И.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1998. – 39 с. Деп. в ГНТБ Украины 25.01.99, №28 – Ук 99.

57. Лорин Г. Сортировка и системы сортировки: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 384 с.

58. Використання зрізів для багатооперандного додавання числових величин/ Т.Б. Мартинюк, В.В. Хомюк, І.М. Савалюк, Д.В. Охрушак// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - №2. – С. 63 – 68.

59. Мартинюк Т.Б. Алгоритм многооперандного суммирования чисел для систолических структур// Сб. трудов МНТК "Приборостроение - 98". – Винница – Симферополь, 1998. – С. 170 – 173.

60. Математична модель алгоритму паралельної обробки інформації/ Л.І. Тимченко, Т.Б. Мартинюк, Л.В. Загоруйко, О.А. Герций, А.В. Кожем'яко// Праці V НТК "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – Хмельницький. - 1998. - №1. - С. 55 – 60.

61. Бортовые цифровые вычислительные машины и системы: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. В.И. Матова. – М.: Высшая школа, 1988. – 216 с.

62. Мартинюк Т.Б., Хомюк В.В., Мельничук О.В. Дослідження особливостей багатооперандної обробки числової інформації// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. - №2. – С. 66 – 70.

63. Параллельная обработка изображений/ В.П. Кожемяко, А.К. Гара, Т.Б. Мартинюк, А.Г. Буда. - Ужгород: Изд – во Ужгород. гос. ун – та, 1993. – 89 с.

64. Принципы организации многоместных арифметико – логических операций/ Кожемяко В.П., Мартинюк Т.Б.; Винниц. политехн. ин – т. – Винница, 1992. – 25 с. Деп. в УкрИНТЭИ 20.10.92, №1701 – Ук92.

65. Мартинюк Т.Б., Кухарчук Г.В., Вербицкий І.А. Асоціативна обробка чисел з використанням зрізів різниць// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. - №4. – С. 40 – 43.

66. Мартынюк Т.Б., Аль – Хияри М.М., Кожемяко А.В. Совместимость ассоциативной и многооперандной обработки массива чисел// Праці VI НТК “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. – Хмельницький. - 1999. - №3.- С. 24 – 28.

67. Першиков В.И., Савинков В.М. Толковый словарь по информатике. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 543 с.

68. Параллельный алгоритм многооперандного сложения и его отображение на матричные структуры/ Т.Б. Мартынюк, А.Г. Буда, В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко// Сб. трудов НТК “Приладобудування - 96 ”. – Ч.2. – Винница – Судак, 1996. – С.19.

69. Модель алгоритму паралельного оброблення інформації з орієнтацією на систолічні структури/ Т.Б. Мартинюк, А.Г. Буда, Л.І. Тимченко, В.І. Роптанов, О.І. Нікольський// Праці 4 – ї Всеукраїнської МНТК “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ’98”. – Київ, 1998. – С. 181 – 184.

70. Патент 2013805 РФ, МКИ G 06 G 7/14. Способ параллельного сложения длительностей группы временных интервалов/ В.П. Кожемяко, Ю.Ф. Кутаев (РФ), Т.Б. Мартынюк, Л.И. Тимченко, А.Г. Буда (Украина). - №5004580/24; Заявлено 22.07.91; Оpubл. 30.05.94, Бюл. №10.

71. Кожем’яко В.П., Мартинюк Т.Б. Особливості організації багатомісних операцій для паралельної обробки інформації// Праці 1 – ї Всеукраїнської НТК “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ’92”. – Київ, 1992. – С. 206 – 208.

72. Фейлмейер М. Параллельные численные алгоритмы// Системы параллельной обработки/ Под ред. Д. Ивенса. – М.: Мир, 1985. – С. 285 – 337.

73. Мартинюк Т.Б., Хомюк В.В., Кухарчук Г.В. Можливості розпаралелювання алгоритму багатооперандного додавання// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1997. - №4. – С. 89 – 93.

74. Трухний В.Д. Структурно – информационные оценки качества цифровых вычислительных машин// Экономика и математические методы. – 1969. – Вып.1. – С. 79 – 89.

75. Возможности распараллеливания алгоритма сложения n операндов/ Мартынюк Т.Б.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1995. – 24 с. Деп. в ГНТБ Украины 18.09.95, №2121 – Ук95.

76. Мартинюк Т.Б., Заболотна Н.І., Шолота В.В. Оцінювання структурно – інформаційної складності алгоритму паралельного додавання чисел// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1996. - №4. – С. 21 –26.

77. Мартинюк Т.Б. Аналіз методів багатооперандної обробки інформації// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1998. - №2.- С. 16 – 20.

78.Отображение алгоритмов многоместной обработки информации на матричные структуры/ Мартынюк Т.Б.; Винниц. политехн. ин – т. – Винница, 1993. – 35 с. Деп. в ГНТБ Украины 16.11.93, № 2267 – Ук93.

79. Мартинюк Т.Б., Кожем'яко В.П. Відображення алгоритмів багатооперандної обробки на структуру лінійних систолічних обчислювачів// Праці 2 – ї Всеукраїнської МНТК “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ’94”. – Київ, 1994. – С. 233 – 235.

80. Мартинюк Т.Б., Буда А.Г., Кожем'яко А.В. Математична модель систолічного алгоритму інтегральної операції// Праці 4 – ї МНТК “Контроль і управління в технічних системах КУТС – 97 ”. – Т.1. – Вінниця. - 1997. – С. 129 – 133.

81. Mathematical model of algorithm of parallel information processing/ L. Timchenko., T. Martyniuk, L. Zagorujko, A. Gertsy, A. Kozhemiako// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1998. - №2.- С. 178 – 181.

82. Систематические вычислители для многоместной обработки информации/ Мартынюк Т.Б.; Винниц. политехн. ин – т. – Винница, 1994. - 27 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.05.94, №903 – Ук94.

83. Мартинюк Т.Б. Систематичні алгоритми багатооперандної обробки інформації// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. - №6. – С. 50 –52.

84. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. - Челябинск: Metallurgia, Челябинское отд., 1989. – 352 с.

85. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.

86. Нефедов А.В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник. – Т.5. – М.: КубК – а, 1997. – 608 с.

87. Шпаковский Г.И. Принципы создания параллельных ПЭВМ// УСИМ. – 1991. - №6. – С. 3 – 10.

88. Классификационный анализ регулярных вычислительных сред/ Мартынюк Т.Б., Лысенко Г.Л., Заболотная Н.И., Шолота В.В.; Винниц. гос. техн. ун – т. – Винница, 1996. – 31 с. Деп. в ГНТБ Украины 26.11.96, №2263 – Ук96.

89. Кучеренко К.И., Очин Е.Ф. Сортирующие сети двумерной медианной фильтрации полутоновых изображений// Радиотехника. – 1987. - №7. – С. 36 – 38.

90. Возможности реализации цифровых корреляторов на однородных структурах/ Мартынюк Т.Б., Билыч О.Н.; Винниц. политехн. ин – т. – Винница, 1993. - 28 с. Деп. в ГНТБ Украины 04.10.93, №1911 – Ук93.

91. Martyniuk T., Kozhemjako A., Homchuk M. Relief Determination of Correlation Function in Image Processing// Праці 3 – і Всеукраїнської МНТК “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ’96”. – Київ, 1996. – С. 90 – 91.

92. The neural and neural – like networks: synthesis, realization, application and future/ V.V. Hrytsyk, N.N. Aisenberg, R.A. Bun et. al.// Інформаційні технології і системи. – 1998. – Т.1. - №1/2. – С. 15 – 55.

93. О возможностях реализации цифровых оптоэлектронных процессоров обработки многоразрядных матричных операндов/ Мартынюк Т.Б., Заболотная Н.И., Дубчак В.Н.; Винниц. политехн. ин – т. – Винница, 1992. - 34 с. Деп. в ГНТБ Украины 08.06.92, №831 – Ук92.

94. Цифровой оптоэлектронный процессор многоуровневых изображений/ В.Г. Красиленко, Т.Б. Мартынюк, Н.И. Заболотная, В.Н. Дубчак// Электронное моделирование. – 1993. – Т.15. - №3. – С. 13 – 18.

95. Image algebra representation of parallel optical binary arithmetic/ K. – S. Huang, B.K. Jenkins, A.A. Sawchuk// Applied Optics. – 1989. – V.28. - №6. – Pp. 1263 – 1278.

96. Бернюков А.К., Сушкова Л.Т. Распознавание биоэлектрических сигналов// Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. - №12. – С. 47 – 51.

97. Григорьев В.Р., Наумов С.П. Нейросетевая реализация алгоритма сортировки на трехмерном оптическом нейрочипе// Автометрия. – 1993. - №3. – С. 28 – 37.

98. Method Spatial – Connected Segmentation of Image/ L. Timchenko, J. Skorukova, J. Kutaev, S. Markov, T. Martyniuk, J. Halchenko// Праці 3 – і Всеукраїнської МНТК “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів УКРОБРАЗ’96”. – Київ, 1996. – С. 79 – 81.

99. Резник А.М., Куссиль М.Э. Оптоэлектронный нейрокомпьютер// УСИМ. – 1993. - №5. – С. 6 – 12.

100. Егоров В.М. Трехмерные нейроподобные оптические вычислительные структуры/ Автометрия. – 1993. - №3. – С. 38 – 43.

101. Абу–Мостафа Я.С., Псалтис Д. Оптические нейросетевые компьютеры// В мире науки. – 1987. - №5.

102. Новые физические принципы оптической обработки информации/ Под ред. С.А. Ахманова, М.А. Воронцова – М.: Наука, 1990. – 398 с.

103. Разработка теории и принципов создания параллельных оптоэлектронных процессоров, их архитектур и элементной базы: Отчет о НИР (промежуточн.)/ Винниц. политехн. ин – т. – №ГР0193У027463; Инв. №0293У001065. – Винница, 1993. – 170 с.

104. Разработка теории и принципов создания параллельных оптоэлектронных процессоров, их архитектур и элементной базы: Отчет о НИР (заключит.)/ Винниц. политехн. ин – т. – №ГР 0193У027463; Инв. №0394У002103. – Винница, 1994. – 250 с.

105. Видео – компьютеры глаз – процессорного типа с нетрадиционными способами кодирования: Отчет о НИР (заключит.)/ Винниц. политехн. ин – т. – №ГР 0193У007161; Инв. №0296У001202. – Винница, 1995. – 76 с.

106. Принципы организации и структуры оптоэлектронных компьютеров на однородных логико – временных средах: Отчет о НИР (промежуточн.)/ Винниц. политехн. ин – т. – №ГР 0196У015323; Инв. №0297У000546. – Винница, 1997. – 142 с.



*Наукове видання*

**Тетяна Борисівна Мартинюк**

**Рекурсивні алгоритми багатооперандної  
обробки інформації**

Монографія

Редактор Т. А. Ягельська

Формат 2,97×42 ¼

Умовн. друк. арк. 12.4

Друк різнографічний

Зам. № 2000 – 0089

Наклад 320 прим.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 93,  
головний корпус ВДТУ, 9-й поверх

**Тел.: (0432) 440-159**