

**С. М. Цирульник, В. П. Кожем'яко,
Г. Л. Лисенко**



**АРХІТЕКТУРА
ДИНАМІЧНИХ ОПТИЧНИХ
ОПЕРАТИВНИХ ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНИХ
ПРИСТРОЇВ НА ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ**

МОНОГРАФІЯ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. М. ЦИРУЛЬНИК, В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Г. Л. ЛИСЕНКО

**АРХІТЕКТУРА
ДИНАМІЧНИХ ОПТИЧНИХ
ОПЕРАТИВНИХ ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНИХ
ПРИСТРОЇВ НА ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ**

МОНОГРАФІЯ

УНІВЕРСУМ – Вінниця
2009

УДК 004.33:681.7

Ц 71

Рецензенти:

Г. С. Тимчик, доктор технічних наук, професор

В. М. Дубовой, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 25.11.2009 р.)

Цирульник С. М.

Ц 71 Архітектура динамічних оптичних оперативних запам'ятовувальних пристроїв на волоконно-оптичних лініях : Монографія. / С. М. Цирульник, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 160 с.

ISBN 978-966-641-

У монографії розглядаються принципи побудови динамічних оптичних оперативних запам'ятовувальних пристроїв на волоконно-оптичних лініях зв'язку та організації структур систем оптичної пам'яті.

Розроблено способи адресації та розміщення інформації в пам'яті на волоконно-оптичних лініях. Наводяться способи представлення інформаційних блоків, способи відображення логічних адрес інформаційних блоків на фізичні адреси динамічних оптичних оперативних запам'ятовувальних пристроїв на волоконно-оптичних лініях зв'язку і запропоновано особливості їх застосування при проектуванні нових типів оптоелектронних приладів та систем з поліпшеними технічними характеристиками.

УДК 004.33:681.7

ISBN 978-966-641-

© С. Цирульник, В. Кожем'яко, Г. Лисенко, 2009

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ПЕРЕДМОВА	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	
1.1 Аналіз сучасного стану методів побудови технічних засобів пам'яті	11
1.2 Класифікація методів і структур зберігання інформації	30
1.3 Оцінювання продуктивності систем пам'яті інформаційно- обчислювальних систем	39
1.4 Проблеми підвищення швидкодії та шляхи їх вирішення.....	45
РОЗДІЛ 2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ОПТИЧНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	
2.1 Модель структури пам'яті на лініях затримки.....	48
2.2 Принципи побудови оптичного оперативного запам'ятовувального пристрою	51
2.2.1 Динамічний оптичний оперативний запам'ятовувальний пристрій на волоконно-оптичних лініях ..	53
2.2.2 Фізичні характеристики базового елемента динамічної оптичної пам'яті	64
2.2.3 Регенерація даних у динамічному оптичному оперативному запам'ятовувальному пристрої.....	70
2.3 Математичне моделювання процесів у динамічному оптичному оперативному запам'ятовувальному пристрої	72
2.4 Аналіз світлової енергетичної ефективності.....	81
2.5 Експериментальні характеристики та параметри оптичної пам'яті на волоконно-оптичних лініях	84
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ПАМ'ЯТІ В ОПТИЧНИХ СТРУКТУРАХ	
3.1 Організація багаторівневої пам'яті	90
3.2 Структури динамічної оптичної пам'яті на волоконно-оптичних лініях.....	95
3.3 Розробка методів адресації та розміщення інформації в пам'яті на волоконно-оптичних лініях	106

3.4 Аналіз ефективності динамічного оптичного оперативного запам'ятовувального пристрою.....	120
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНОГО ОПТИЧНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗАПАМ'ЯТОВУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ	
4.1 Перетворювачі кодів на динамічному оптичному запам'ятовувальному пристрої	125
4.1.1 Регістр зсуву	125
4.1.2 Перетворювач послідовного коду в паралельний.....	127
4.1.3 Перетворювач паралельного коду в послідовний.....	128
4.1.4 Комутатор TDM.....	129
4.2 Двоопераційна буферизація на динамічному оптичному запам'ятовувальному пристрої	131
4.3 Системи підготовки та сортування даних інформаційно-обчислювальних систем на динамічному оптичному запам'ятовувальному пристрої	136
4.4 Перспективи застосування логіко-часового оптоелектронного процесора	141
4.5 Фізико-технологічні основи створення наноструктур пам'яті.....	145
ВИСНОВКИ	155
ЛІТЕРАТУРА	157

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DRAM	Dynamic RAM
EDFA	Ербієвий волоконний підсилювач
FIFO	First In - First Out
LRA	Рамановський волоконний підсилювач
LIFO	Last In - First Out
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-Only Memory
SOA	Напівпровідниковий оптичний підсилювач
SRAM	Static RAM
TDM	Технологія мультиплексування каналів з розподілом часу
БЗП	Буферний запам'ятовувальний пристрій
БП	Біопроцесор
ВЗ	Вхід запису
ВІС	Великі інтегральні схеми
ВК	Вхід керування
ВОЛ	Волоконно-оптична лінія
ВОЛЗ	Волоконно-оптична лінія зв'язку
ВОС	Волоконно-оптична структура
ВЧ	Вхід читання
ГБТ	Гетеробіполярний транзистор
ГІС	Геоінформаційна система
ГІЕС	Геоінформаційно-енергетична система
ГМКМ	Горизонтальні багатокристальні модулі
ДЗП	Динамічний запам'ятовувальний пристрій
ДООЗП	Динамічний оптичний оперативний запам'ятовувальний пристрій
ДП	Двонаправлений перемикач
ЕП	Елемент пам'яті
ЗП	Запам'ятовувальний пристрій
ЗПДВ	Запам'ятовувальний пристрій з довільною вибіркою
ЛД	Лазерний діод
ЛЧК	Логіко-часовий код
ЛЧС	Логіко-часове середовище

ЛЧФ	Логіко-часова функція
НВ	Направлений відгалужувач
НВІС	Надвеликі інтегральні схеми
НВЕТ	Транзистор з високою рухливістю електронів
НР	Накопичувальний регістр
НХВ	Направлений хвилеводний відгалужувач
ОБЕ	Оптичний бістабільний елемент
ОМ	Обчислювальна машина
ООЗП	Оптичний оперативний запам'ятовувальний пристрій
ООМ	Оптоелектронна обчислювальна машина
ОП	Обмінний перемикач
ОХ	Оптичний хвилевід
ПЗЗ	Прилад із зарядовим зв'язком
ПЗП	Постійний запам'ятовувальний пристрій
ПОМ	Передавальний оптичний модуль
Р/П	Реплікатор / перемикач
СП	Система пам'яті
СД	Світлодіод
СХ	Смушковий хвилевід
ТМС	Тривимірні мікроскладання
ФП	Фотоприймач
ФПМ	Фотоприймальний модуль

ПЕРЕДМОВА

Існуючі методи проектування традиційних алгоритмів і архітектура ЕОМ уже не відповідають тим алгоритмічним і архітектурним рішенням, до яких приходять при розробці обчислювальних структур із високим ступенем паралелізму.

Найбільш критичними є елементи динамічної пам'яті, мікропроцесори, спеціальні надвеликі інтегральні схеми.

Використання електромагнітних коливань оптичного діапазону відкриває нові шляхи побудови надшвидкодійних обчислювальних структур, у яких, шляхом нормування часових затримок на волоконно-оптичних лініях (ВОЛ), часовий зсув імітує виконання найпростіших арифметичних і логічних операцій із швидкістю близькою до швидкості світла.

Синтез і аналіз зображень у теперішній час в основному реалізується за допомогою алгоритмічної обробки на ПК. У зв'язку з тим, що зображення стають масовою продукцією в промисловості і науці, а їх обробка, розпізнавання й аналіз – масовим потоковим виробництвом, – цифрова обробка зображень стає економічно вигідною і необхідною скрізь, де вона технічно можлива [1, 25, 82].

Вирішення проблем обробки і перетворення великих масивів інформації шляхом застосування класичних прийомів програмного керування виявляється важким, особливо при введенні і виведенні зображень у ситуаціях, що швидко змінюються.

Традиційно інформаційне поле подається в ЕОМ двома способами – поелементним і табличним. Оскільки адресація в більшості машин послідовна, то дані, що знаходяться в пам'яті, упорядковані абсолютними значеннями адрес. Тому будь-який масив, що знаходиться в пам'яті, "розгорнутий" в одновимірну послідовність елементів, змінює вихідну топологію масиву. Особливістю доступу до відеоданих є необхідність вибірки з пам'яті пов'язаних фрагментів зображень або елементів однакової текстури. Після розгортки масиву ці елементи швидше за все виявляються в комірках, адреси яких значно відрізняються. Тому час обробки істотно залежить від того, чи знаходиться весь масив у ОЗП, де доступ до комірки довільний, чи частина масиву знаходиться в зовнішній пам'яті ЕОМ, час доступу до якої на декілька порядків вищий від часу звертання до ОЗП. Тому спосіб розгортки

масиву робить істотний вплив на час обробки. Таким чином, спосіб організації, збереження і пошуку елемента багатовимірною масиву повинний забезпечувати найбільшу ймовірність виявлення сусідніх елементів масиву або просторово-зв'язаних елементів, або елементів однакової текстури на одній і тій же сторінці пам'яті. Крім організації збереження суттєвим є об'єм пам'яті. Так для високоякісної обробки зображення потрібні масиви не менше $4096 \times 4096 \times 16$ елементів, для яких об'єм ОЗП повинен складати для мультимедійної обробки – 200 Мбайт [53]. Тому актуальним є створення таких структур пам'яті, у яких зберігання інформації про топологію і текстуру інформаційного поля відповідає суттєвому (на порядок) скороченню об'єму пам'яті.

База даних зображень і образів у спеціалізованих відеокомп'ютерах повинна складати біля 100000 елементів зображень. Вибірка даних повинна проводитись в середньому за 100 мс [39], тобто еквівалентна продуктивність складає 1 млн. образів/с. З огляду на те, що образи мають від 5000×5000 до 10000×10000 елементів, продуктивність повинна складати від $2,5 \cdot 10^{13}$ до 10^{14} елементарних операцій у секунду. У зв'язку з цим, стає очевидним, що існуючі методи і способи обробки зображень найближчим часом не в змозі задовольнити зазначені потреби і потребують принципово нових підходів до обробки зображень.

Актуальність робіт у цій області обумовлена необхідністю дослідження нових можливостей побудови, організації оптичних запам'ятовувальних пристроїв в нових засобах інформаційної та обчислювальної техніки.

Покращити технічні характеристики та розширити область застосування пристроїв з пам'яттю можна застосовуючи у нових оптико-електронних системах динамічну оптоелектронну пам'ять на волоконно-оптичних лініях. Використання новітніх оптико-електронних технологій також сприяє переходу до нанотехнологічної реалізації багатопроцесорних систем, зокрема в системах масового використання та геоінформаційно-енергетичних системах керування.

Необхідність створення і впровадження процесорів з динамічною пам'яттю на ВОЛ зумовлена також дослідженнями Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України за держбюджетною темою: «Оптико-електронний квантово-

розмірний образний комп'ютер око-процесорного типу: концепції, методологія, база знань» (№ держреєстрації: 0105U002434).

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників у галузі оптичних інформаційних систем, око-процесорних систем, систем паралельної обробки інформації, а також на студентів і аспірантів відповідних спеціальностей.

Вступ, висновки, а також підрозділи 1.3, 2.3, 3.1, 4.2, 4.5 підготував В. П. Кожем'яко; підрозділи 2.1, 3.2, 4.1 – Г. Л. Лисенко; підрозділи 1.1, 1.2, 1.4, 2.2, 2.4, 2.5, 3.3, 3.4, 4.3, 4.4 – С. М. Цирульник.

ВСТУП

Інформаційно-обчислювальна техніка підійшла до того критичного моменту, коли теоретичні і прикладні дослідження зробили очевидним обмеження в застосуванні для розв'язання цілого ряду задач послідовно-потоківих арифметичних операцій в ЕОМ перших п'яти поколінь. Для паралельної обробки інформації стала очевидною неспроможність орієнтації тільки на концепцію еволюційного удосконалення комп'ютерної та мікропроцесорної техніки.

Постійно зростаючі вимоги до обробки сигналів у реальному часі і до підвищення швидкодії апаратури приводять до необхідності створення обчислювальних структур із новою архітектурою, спроможних із дуже великою швидкістю обробляти величезні масиви даних.

Збільшення продуктивності інформаційно-обчислювальних систем досягається за рахунок підвищення тактової частоти логічних елементів та елементів пам'яті, а також їх кількості. Для кожного рівня розвитку елементної бази існує обмеження значення тактової частоти й кількості елементів. До числа обмежень відносяться також завжди існуючий розрив між швидкістю логічних елементів та елементів пам'яті. Цей розрив має тенденцію до збільшення при зростанні ступеня інтеграції й швидкодії елементної бази.

Оскільки електронні пристрої впритул наблизилися до своєї фізичної межі швидкодії, розв'язання задач паралельної обробки інформації, зокрема, обробки зображень у реальному часі, цілком залежить від розробки високошвидкісних і цілком паралельних інтелектуально-обчислювальних процесів, алгоритми роботи й архітектура яких орієнтована на нейроподібні принципи обробки і перетворення інформації

Розвиток процесорних технологій в останні роки виявив вузьке місце сучасних комп'ютерних архітектур – оперативну пам'ять. Якщо зовсім недавно основною причиною низької продуктивності серверів та систем високопродуктивних обчислень були підсистеми введення/виведення, то сьогодні на перший план вийшло відставання продуктивності доступу до пам'яті від продуктивності сучасних процесорів. Розробники процесорних систем використовують різні підходи для подолання цієї проблеми. Тому розробка швидкодійної оптичної пам'яті є актуальною задачею.

Саме ці питання і є пріоритетними у монографії. Робота направлена на покращення технічних характеристик систем пам'яті: підвищення їх швидкодії за рахунок використання нових тенденцій у розвитку волоконно-оптичних технологій.