

**В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк,  
О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна**



**КВАНТОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ  
НА ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ЛОГІКО-  
ЧАСОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ  
ДЛЯ ОКО-ПРОЦЕСОРНОЇ  
ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Т. Б. МАРТИНЮК,  
О. І. СУПРИГАН, Д. І. КЛІМКІНА

**КВАНТОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА  
ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ЛОГІКО-ЧАСОВИХ  
СЕРЕДОВИЩАХ  
ДЛЯ ОКО-ПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ**

МОНОГРАФІЯ

УНІВЕРСУМ - Вінниця  
2007

УДК 681.32  
К 58

*Рецензенти:*

**В. І. Осінський**, доктор технічних наук, професор, директор  
Центру оптоелектронних технологій ГП НДІ Мікроприладів, м. Київ

**В. М. Локазюк**, доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедрою ВТ Хмельницького національного університету

**В. М. Дубовой**, доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедрою КСУ Вінницького технічного університету

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №5 від 24.11.05 р.)

**Кожем'яко В. П., Мартинюк Т. Б., Суприган О. І.,  
Клімкіна Д. І.**

К 58 Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових  
середовищах для око-процесорної обробки зображень.  
Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. - 126 с.

ISBN 978-966-641-219-8

У монографії розглянуто формальний математичний апарат логіко-часових функцій і побудову на цій основі елементів технології око-процесорної обробки образної інформації. Запропоновано математичні моделі квантових перетворень для виділення ознак зображень, що дозволяють ефективно виконати формування операторів впливу та узагальненого інтегрування з набору логіко-часових функцій. Розроблено апаратні і схемотехнічні аспекти використання логіко-часових функцій для око-процесорної обробки інформації.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються обробкою образної інформації.

УДК 681.32

**ISBN 978-966-641-219-8**

© В. Кожем'яко, Т. Мартинюк,  
О. Суприган, Д. Клімкіна, 2007

## ЗМІСТ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b>                                                                                      | 5  |
| <b>ВСТУП</b>                                                                                                          | 6  |
| <b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ, ЕЛЕМЕНТІВ ТА ПРИБРОЇВ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>                       |    |
| 1.1 Загальна характеристика проблеми розпізнавання зображень                                                          | 8  |
| 1.2 Аналіз проблеми моделювання структур інформаційних середовищ обробки зображень                                    | 10 |
| 1.3 Класичні підходи до розпізнавання зображень та методи обробки оптичної інформації                                 | 11 |
| 1.4 Око-процесорні пристрої для обробки та аналізу візуальної інформації                                              | 18 |
| 1.4.1 Розпізнавання зображень за ознаками та загальна класифікація ознак об'єктів                                     | 21 |
| 1.4.2 Логіко-часове інформаційне середовище як ефективний засіб обробки та аналізу візуальної інформації              | 24 |
| 1.4.3 Структурна реалізація пристрою око-процесорного типу                                                            | 28 |
| <b>РОЗДІЛ 1 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ ЛЧФ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ</b>                                | 30 |
| 2.1 КВР-перетворення                                                                                                  | 31 |
| 1.1.1 Первинна модель синтезу ознак                                                                                   | 33 |
| 1.1.2 Синтез неявно виражених ознак                                                                                   |    |
| 2.2 Розробка методу “ключа-відмички” для формування кінцевого результату обробки інформації при розпізнаванні об'єкта | 37 |
| 2.3 Операції над логіко-часовими функціями                                                                            | 39 |
| 2.3.1 $\Delta$ -розбиття часового інтервалу і фільтрація ЛЧФ                                                          | 41 |
| 2.3.2 Кореляційна оцінка похибки фільтрації                                                                           | 47 |
| 2.3.3 Диференціювання ЛЧФ                                                                                             | 50 |
| 2.3.4 Формування оператора впливу                                                                                     |    |
| 2.3.5 Первісна ЛЧФ та дія оператора узагальненого інтегрування                                                        | 52 |

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РОЗДІЛ 3. СПОСІБ ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА БАЗІ СТРУКТУРНОГО КОНТУРНОГО АНАЛІЗУ</b>          | <b>56</b> |
| 3.1 Загальна постановка задачі контурного розпізнавання зображень                                                 | 57        |
|                                                                                                                   | 59        |
| 3.2 Новий підхід до контурного кодування зображень                                                                |           |
| 3.2.1 Розробка понятійного апарата при структурному контурному аналізі                                            | 60        |
| 3.2.2 Основні принципи кодування зображень з незаконіформним контуром                                             | 64        |
| 3.3 Побудова апіорного алфавіту класів зображень з незаконіформним контуром                                       | 65        |
| 3.4 Аналіз та експериментальні дослідження способу контурного кодування зображень                                 | 68        |
| 3.5 Перспективні шляхи реалізації способу контурного розпізнавання зображень                                      | 74        |
| <br>                                                                                                              |           |
| <b>РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА СХЕМОТЕХНІКА ОКО-ПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ</b>                             | <b>82</b> |
| 4.1 KVP-перетворення в око-процесорній обробці зображень                                                          | 85        |
| 4.2 Структури для створення “ключ”-функції                                                                        | 85        |
| 4.2.1 Пристрій для диференціювання ЛЧФ                                                                            | 86        |
| 4.2.2 Пристрій для формування операторів впливу                                                                   | 89        |
| 4.2.3 Схемотехнічні особливості формування функцій ознак                                                          |           |
| 4.3 Реалізація приладу на програмованих логічних інтегральних схемах                                              | 90        |
| 4.4 Реалізація KVP-перетворювача на оптоелектронній елементній базі                                               | 91        |
| <br>                                                                                                              |           |
| <b>РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ОПТОЕЛЕКТРОННОГО ЛОГІКО-ЧАСОВОГО СЕРЕДОВИЩА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ</b> |           |
| 5.1 Розробка структурної схеми аналізатора інформації при логіко-часовому око-процесорному розпізнаванні          | 98        |
|                                                                                                                   | 99        |
| 5.2 Аналізатор для виділення ознак логіко-часових даних                                                           | 103       |
| 5.3 Аналізатор для виділення рангів логіко-часових даних                                                          | 109       |
| 5.4 Аналіз варіантів апаратної реалізації аналізатора інформації                                                  |           |
|                                                                                                                   | 111       |
| <b>ВИСНОВКИ</b>                                                                                                   |           |
|                                                                                                                   | 113       |

## ЛІТЕРАТУРА

### ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСОЗ – автоматизовані системи обробки зображень  
БНМ – багатошарові нейромережі  
БФФО – блок формування функцій ознак  
ЕДК – елементарна ділянка контуру  
ЕНК – елементарний напрямок контуру  
ЛЧЗ – логіко-часова змінна  
ЛЧК – логіко-часовий код  
ЛЧС – логіко-часове середовище  
ЛЧФ – логіко-часова функція  
МКФ – модульно-кореляційна функція  
МПФІ – метод пофрагментного інтегрування  
НК – незакономірний контур  
НМ – нейромережі  
НПЛ – напівпровідникові лазери  
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій  
ОР – об'єкт розпізнавання  
ОФММ – ортогональні моменти Фур'є–Мелліна  
ПП – паралельно-ієрархічне перетворення  
ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема  
ПЛМ – програмована логічна матриця  
СВД – світловипромінюючі діоди  
ССО – самоналагоджувальний синтезатор ознак  
ФІС – функціонально-інтегральний синтезатор  
ФММ – Фур'є і радіальні моменти Мелліна  
КVP-перетворення – квантові перетворення за ознаками  
MSE – середній квадрат помилок  
MSR – середній квадрат, який можна пояснити з регресійної моделі

## ВСТУП

Створення конкурентоздатного вітчизняного „образного” комп’ютера і різноманітних пристроїв та систем з елементами штучного інтелекту є вирішальною задачею сьогодення, що обумовлює незаперечну актуальність концепції побудови паралельних високоінтелектуальних око-процесорних середовищ з оптичними носіями інформації та енергії.

Сучасні розробки систем технічного зору та розпізнавання зображень базуються на спробах відтворити модель функціонування людського ока та процесів, що відбуваються в мозку людини під час сприйняття та аналізу зображення. Саме такий підхід закладається в розробки нових принципів побудови технічних засобів систем штучного інтелекту.

В монографії вирішення поставленої проблеми проводиться методами око-процесорного типу, що поєднують в собі переваги універсального логіко-часового подання інформації із природним паралелізмом, високою інформативністю і завадостійкістю засобів оптоелектроніки.

На основі сучасних розробок систем штучного інтелекту та оптоелектронної елементної бази виникає можливість створення ефективних оптоелектронних логіко-часових середовищ око-процесорного типу, які будуть спроможні виконувати сприйняття, обробку та розпізнавання не тільки візуальних стаціонарних зображень, але й різноманітних об’єктів, що знаходяться в динаміці.

На сьогоднішній день в Україні багатьма науковими школами ведеться розробка та впровадження систем штучного інтелекту. Серед них в першу чергу: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (м. Київ); Інститут проблем реєстрації інформації НАН України (м. Київ); Національний технічний університет України „КПІ” (м. Київ); Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Державного комітету зв’язку та інформатизації і НАН України (м. Львів); Національний університет „Львівська політехніка” (м. Львів); фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка (м. Львів) та ін.

Роль новітніх інформаційних комп’ютерних технологій у розвитку суспільства проявляється в прискоренні процесів одержання, поширення і використання суспільством нових знань. У зв’язку з цим, актуальною є проблема удосконалення сучасних комп’ютерних технологій і розробка нових підходів у сфері паралельних обчислень з використанням технологій штучного інтелекту, таких як образні комп’ютери.

Окремі теоретичні результати роботи впроваджено у навчальний процес по викладанню дисципліни «Нові інформаційні технології обробки,

аналізу та розпізнаванню зображень» на кафедрі лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників у галузі обчислювальної техніки, паралельної обробки сигналів і зображень, а також на студентів і аспірантів відповідних спеціальностей.

Вступ, висновки, а також підрозділи 1.2, 4.4, 5.4 підготував В. П. Кожем'яко; підрозділи 1.3, 5.1. – Т. Б. Мартинюк; 1.4, 2.1, 2.2, 2.3, 4.1, 4.2, 4.3 – О. І. Суприган; 1.1, 3.1 – 3.5, 5.2, 5.3 – Д. І. Клімкіна.



# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ, ЕЛЕМЕНТІВ ТА ПРИСТРОЇВ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### 1.1 Загальна характеристика проблеми розпізнавання зображень

При створенні сучасних систем технічного зору надзвичайно важливою є задача ефективного і якісного розпізнавання зображень в реальному часі [1].

Більше 80% всієї інформації людина отримує через зір [2]. Тому обробка та розпізнавання зображень широко використовуються в різних галузях науки та техніки. Наприклад, в медицині та біології, в робототехніці при аналізі сцен, в контролі матеріалів та середовищ, прикладних задачах фізики, соціології та економіки, в психології (зорового) сприйняття, криміналістиці та інших [3–10].

Можна виділити дві основні задачі розпізнавання: вибір оптимальної системи інформативних ознак зображення та класифікація об'єктів за ними. При цьому дані процеси мають відрізнятися:

- простотою;
- високою достовірністю та обчислювальною ефективністю в умовах обмеженого обчислювального ресурсу;
- інваріантністю до основних афінних перетворень [11].

Проблема розпізнавання зображень носить явно виражений комплексний ієрархічний характер і включає ряд основних етапів [11]:

- сприйняття поля зору;
- передобробку вхідної інформації;
- сегментацію вхідної інформації;
- нормалізацію виділених об'єктів;
- безпосередній опис та класифікацію ОР.

Такий обов'язковий етап, як розуміння (інтерпретація) зображень включається частково в етап сегментації й остаточно зважується на етапі розпізнавання.

Особливо важливого значення при розпізнаванні зображень набуває сегментація зображень [12], що полягає в автоматичному розбитті зображення на визначені області. Існує велика кількість різноманітних способів сегментації, що узагальнюють два основні підходи: підхід на основі виділення границі областей та підхід на основі розмітки точок області. Особливий інтерес становить сегментація зображень за зв'язністю [13, 14].

Не менш важливою задачею при загальному аналізі зображення є вибір інформативних ознак зображень. Формування оптимальної си-

стеми ознак, що в подальшому дозволить провести чітку класифікацію об'єкта, впливає як на алгоритм розпізнавання, так і на конкретну його апаратну реалізацію.

Однак, незважаючи на високу важливість задачі вибору ознак та велику кількість розробок у цій сфері, єдиного оптимального вирішення цієї задачі розпізнавання досі не знайдено. Перш за все це пов'язано з фізичною різноманітністю існуючих в природі ознак зображення. Через складність об'єктів розпізнавання (ОР) та класифікаційну неоднорідність їх характеристик існує і велика кількість груп ознак – однозначно невизначених і наповнених одночасно кількісно-якісною суттю. ОР можна описати за допомогою природних чи штучних ознак, логічних, структурних, ймовірнісних чи детермінованих [15, 11]. Окремо розглядають і такі інформативні ознаки: ознаки за яскравістю, гістограмні, просторово-спектральні, контурні, текстурні. Ознаки зображення можуть бути чітко і нечітко вираженими, локальними і глобальними. Широко використовуються і такі групи ознак, як геометричні, спектральні, енергетичні та динамічні [8, 11, 15].

Основним елементом будь-якого завдання розпізнавання зображень є відповідь на питання: чи відносяться вхідні зображення до класу зображень, що являє собою певний еталон. Здавалося б, відповідь можна одержати, порівнюючи безпосередньо зображення з еталонами (або їхні ознаки). Однак виникає ряд труднощів і проблем, специфічних, особливо, при створенні систем технічного зору:

- зображення розглядаються на складному фоні;
- зображення еталона й вхідних зображень відрізняються положенням у полі зору;
- вхідні зображення не збігаються з еталонами через випадкові завади;
- відмінності вхідних й еталонних зображень виникають за рахунок зміни освітленості, підсвічування, локальних завад;
- еталони й зображення можуть відрізняти геометричні перетворення, включаючи такі складні, як афінні й проєктивні.

Для розв'язання задачі в цілому й на окремих її етапах застосовуються різні методи сегментації, нормалізації й розпізнавання зображень.

Розглянемо докладніше існуючі підходи, методи та засоби розв'язання задачі розпізнавання зображень в режимі реального часу та проаналізуємо доцільність та ефективність їх використання.

## 1.2 Аналіз проблеми моделювання структур інформаційних середовищ обробки зображень

У обчислювальній техніці та системах керування може бути застосований набір оптичних та оптоелектронних методів обробки зображень (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Функціональна класифікація методів обробки зображень

Класифікація, наведена вище, – це вдосконалення існуючих підходів [16]. З раніше відомих варіантів класифікації методів обробки зображень було вилучено галузі застосування, які не є принциповими для подальшої розробки поставленої задачі та доповнено основними існуючими методами обробки зображень, за допомогою і на базі яких вирішуватиметься одна з поставлених задач – створення нового методу розпізнавання зображень.

У цьому контексті прогресивним напрямком у зарубіжних і вітчизняних джерелах [16, 17] є орієнтація на ідеальні біологічні аналоги, у яких обробка зображень і їхнє розпізнавання, як відомо, здійснюєть-

ся за ознаками. Найбільш важливими та принциповими критеріями розпізнавання є достовірність та інваріантність до афінної групи перетворень зображень [18, 19]. У зв'язку з цим доцільно виконати аналіз раніше розроблених [20–22] методів.

### **1.3 Класичні підходи до розпізнавання зображень та методи обробки оптичної інформації**

Зорове сприйняття інформації – це прийняття зображення оком і попередня обробка на нижчих ієрархічних рівнях зорового аналізатора, що визначається рецептивними полями сітківки і зовнішнього колінчастого тіла. Наступна обробка зображення пов'язана з його розпізнаванням і здійснюється вищими відділами кори головного мозку [23–25]. Зорові зони головного мозку більш високого порядку відповідають за вирішення головної задачі сприйняття зображень – розпізнавання зображень [26–30].

Алгебраїчний метод реалізує детермінований підхід до вирішення задач розпізнавання зображень. В основі алгебраїчного методу [22] лежить ідея індуктивного виникнення математичних об'єктів шляхом узагальненого індуктивного визначення. Визначаються базові моделі і вводяться операції над ними, які дозволяють послідовно утворювати нові моделі.

Проте, цьому методу властиві недоліки ймовірних моделей. Але алгебраїчні моделі мають значно менші обмеження в підвищенні точності розділення класів об'єктів і фонів та адаптивності до часткових спотворень опису об'єктів за умови збереження основних їх частин.

Структурний метод виходить з припущення про аналогію між структурою зображення образу і синтаксисом мови, що дозволяє перенести методи теорії формальних граматики для опису зображень [31].

Недоліки структурного підходу проявляються в тому, що деякі засоби, запозичені з лінгвістики не пристосовані належним чином до вирішення задач розпізнавання образів.

Геометричний метод – в основі цього методу лежить поняття образу і відповідних йому ознак [32]. Об'єктивною характеристикою образу є його ознаки. Принцип розпізнавання міститься в тому, що системі висувається реалізація окремих класів (навчаюча послідовність) і система сама виробляє правило вирішення, обираючи його з деякого класу правил, закладених в неї при створенні [33].

Основним недоліком такого підходу є значні похибки при визначенні мір близькості компактних множин в конфігуруючому просторі.

Кореляційний метод базується або на підрахунку коефіцієнтів кореляції між задалегідь сформованими еталонами і досліджуваними зображеннями об'єктів [34], або на основі попередньої статистичної обробки зображень з обчисленням ординат автокореляційних функцій (1.1) [35]:

$$R(\xi, \eta) = \int_{\Omega'} B(x, y) B_e(x - \xi, y - \eta) dx dy, \quad (1.1)$$

де  $B_e(x, y)$  – двомірна функція розподілу яскравості еталона;  $\Omega'$  – область визначення функцій  $B(x, y)$  і  $B_e(x, y)$ .

Цей метод розпізнавання зображень, незважаючи на оригінальність, має ряд недоліків. По-перше, для поділу способів на класи необхідно проводити сканування зображення (маючи як позитив, так і негатив), при цьому виникає помилка розпізнавання. По-друге, потрібно здійснити поворот позитива щодо негатива зображення об'єкта. По-третє, для визначення світлового центру зображення і переносу початку координат потрібна велика кількість обчислень, що неминуче призводить до значного ускладнення технічної реалізації та збільшення часу розпізнавання [35].

Спектральний метод базується на тому, що у якості ознак для розпізнавання зображень об'єктів використовують просторово-часовий спектр  $S(\omega_x, \omega_y)$ , тобто перетворення Фур'є  $F$  функції  $B(x, y)$  (1.2) [36]:

$$S(\omega_x, \omega_y) = F\{B(x, y)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} B(x, y) e^{-j(\omega_x x + \omega_y y)} dx dy. \quad (1.2)$$

Незважаючи на те, що обробка зображень спектральними методами відбувається в оптичному діапазоні, вони становлять інтерес при побудові цифрових розпізнаючих пристроїв із погляду вибору інформативних ознак.

Цьому методу притаманний ряд недоліків: чутливість до зсуву вхідного зображення відносно узгодженого фільтра призводить до зсуву кореляційної функції у вихідній площині; чутливість до повороту передбачає необхідність застосування в системі пристрою, який виконує операцію обертання; неінваріантність до масштабу зображення [32].

В методі обробки на базі теорії нечітких множин [37] ключовим поняттям є поняття про нечіткі ознаки. Рішення про належність образу до того чи іншого класу може бути прийняте за максимальним значенням коефіцієнта належності, що відповідає даному класу. Достовірність діагностики забезпечується коректним застосуванням операцій  $\max$  і  $\min$  нечіткої логіки до експертної матриці знань [35].

Метод просторово-зв'язаних процесів застосовується для структурного аналізу зображень. Являє собою багатокрокову архітектуру, що досліджує часткові зв'язки між структурними компонентами зображення. З метою зниження чутливості до спотворень та шумів протягом формування об'єкта застосовується метод [38] представлення зображення з узагальненим просторовим  $W$ -пов'язаним спектром.

Відмінною рисою [39] цього методу порівняння зображень є значне збільшення відношення сигнал/шум, що забезпечується відповідним порівнянням  $W$ -пов'язаного спектра зображень з їх  $Q$ -спектрами.

На сьогоднішній день існує величезна кількість підходів, методів та алгоритмів розпізнавання зображень. Так, наприклад, можна виділити статистичні, лінгвістичні або нечіткі підходи [40]; детерміновані та неперервно-групові підходи [41]. Методи розпізнавання зображень класифікують в залежності від типу інформативних ознак або від типу операцій обробки інформації (алгебраїчні, структурні, геометричні, кореляційні, спектральні, обробка на базі нечітких множин) [40, 42]. В залежності від подання вхідного зображення виділяють також кореляційні, ознакові та синтаксичні методи [11].

Розглянемо деякі методи розпізнавання зображень докладніше.

Прості спеціалізовані методи розпізнавання зображень є історично найбільш ранніми, недостатньо гнучкі та універсальні, хоча часто застосовуються для вирішення конкретних практичних задач.

Метод суміщення з еталонами. Це історично перший метод розпізнавання, основний принцип якого полягає в порівнянні зображення з наперед сформованим набором ідеальних еталонів [11, 42]. Системи розпізнавання, побудовані на цьому методі, можна класифікувати за вибраним способом зберігання еталонних наборів:

- системи, що використовують фотографічні маски;
- системи, що використовують електричні моделі еталонів (наприклад, матриці опорів, феритових осердь).

Метод зондів використовується для розпізнавання літер і цифр. Він базується на аналізі деяких ознак, істотних для даного зображення, і дає можливість класифікувати рукописні знаки, написані з деякими розбіжностями в розмірі та стилі написання [42, 43]. На знак, що розпізнається, накладається спеціально підібрана система електродів-зондів, які можна розглядати в якості координат в просторі ознак.

Метод маркування зображень. Сутність методу полягає в тому, що зображенню штучно надаються ознаки, які визначають його в процесі розпізнавання. Задача розпізнавання зображення зводиться до задачі розпізнаванні кодів, подібних до азбуки Морзе. Основний недолік

методу полягає в тому, що кожне зображення до самого розпізнавання має пройти спеціальну обробку в пристрої маркування.

Квазітопологічний метод розпізнавання. Такі зображення, як букви алфавіту, можна трактувати як плоскі графи, а різне написання однієї і тієї ж букви можна розглядати як гомеофорні перетворення деякого ідеального знаку. Цей метод розпізнавання може бути реалізований з використанням графів за допомогою слідкуючої розгортки, що здійснює обхід зображення по зовнішньому контуру. Використання даного методу принципово не може забезпечити повного представлення букв українського алфавіту, оскільки деякі зображення букв є гомеофорними одному і тому ж еталонному графу. Крім того він не може забезпечити якісного розпізнавання у випадку поганої якості надрукованих знаків і має низьку швидкодію [42].

Метод потенціальних функцій полягає в представленні зображень у вигляді векторів в просторі вхідних сигналів. Алгоритм цього методу базується на основній гіпотезі про характер функцій, що розділяють відповідні образам множини.

Метод стохастичної апроксимації. В статичних методах використовують поняття функцій регресії та їх коренів. Ідея застосування цього методу для вирішення задач розпізнавання пов'язана з вибором функції втрат такою, щоб вона дозволяла організувати рекурентну процедуру. Наприклад можна застосувати таке правило: якщо за допомогою деякої розділяючої функції зображення класифікується правильно, то штраф рівний нулю, якщо ж ні, то значення штрафу призначається пропорційним відстані від вектора зображення до розділяючої гіперповерхні.

Метод мінімізації емпіричного ризику. Даний метод прямо залежить від існування рівномірної збіжності частот до імовірностей за класами подій. Алгоритми даного методу можуть бути використані, якщо ємність класу правил алгоритму невелика.

Метод впорядкованої мінімізації ризику. Відмінність методу мінімізації емпіричного ризику від методу стохастичної апроксимації полягає в тому, що в першому випадку обирається правило, що мінімізує емпіричний ризик лише в класі окремих функцій, в той час як в другому випадку мінімізація здійснюється на всій множині. Метод впорядкованої мінімізації можна розглядати як дворівневу процедуру [15, 43].

Метод допустимих перетворень дозволяє одночасно з оцінкою шуканого параметра знайти і оцінку параметра перетворення, тим самим для кожного зображення можна вказати еталон максимальної схожості, а також показати, чим зображення відрізняється від початкового еталону. Крім того метод є інваріантним до припустимих пере-

творень. Основні труднощі практичної реалізації полягають у складності опису конкретного зображення і великому об'ємі обчислювальних операцій над його параметрами [43, 44].

Кореляційний метод В.А. Ковалевського – окремий випадок методу припустимих перетворень, за умови невеликої кількості параметрів моделі. Кореляційний метод розпізнавання послідовності зображень полягає у знаходженні міри схожості послідовності зображень з послідовностями еталонів шляхом визначення кореляції окремих зображень на окремі еталони і підсумовування їх квадратів.

Метод розпізнавання на основі виділення ознак [15, 41, 44]. Будь-який образ, що підлягає розпізнаванню і класифікації, має ряд відмінних якостей чи ознак.

Вибір ознак за допомогою мінімізації ентропії. Мірою внутрішнього різноманіття для заданого сімейства образів служить ентропія сукупності. Основна ідея методу заключається у визначенні матриці лінійного перетворення, що переводить задані вектори образів у нові вектори меншої розмірності – зображення. Матриця перетворень знаходиться за допомогою мінімізації ентропії сукупності образів, що входять в класи, які розглядаються. Задача полягає у визначенні такого способу вибору векторів ознак, щоб вектор ознак перетворювався в зображення і одночасно мінімізувалась величина ентропії.

Вибір ознак за допомогою розкладання по системі ортогональних функцій. Якщо не виконується умова нормального розподілу образів, що складають задані класи, то необхідно скористатися методом розкладання за системою ортогональних функцій. Для цього використовують розклад Карунена – Лоева. Цей розподіл мінімізує середьоквадратичну похибку при використанні лише скінченного числа базисних функцій в розкладі, а також мінімізує функцію ентропії, виражену через дисперсію коефіцієнтів розкладу [41, 44].

Вибір ознак за допомогою апроксимації функціями. Якщо ознаки образів, що складає деякий клас, можна охарактеризувати за допомогою певної функції, яка визначається на основі результатів спостереження, то процес вибору ознак можна розглядати як задачу апроксимації деякої функції. В процесі навчання відомі значення функції ознак в точках, що відповідають вибірковим образам. Необхідно знайти таку апроксимацію функції, щоб забезпечувалась оптимізація за деяким критерієм якості. Існують різні методи визначення апроксимуючих функцій, наприклад, стохастична апроксимація [15, 44].

Розпізнавання за допомогою штучних нейронних мереж. Нейромережеві методи – це методи, що базуються на застосуванні різних типів нейронних мереж (НМ) [45, 46]. Найпростіше застосування одношарової НМ (автоасоціативна пам'ять) полягає в навчанні мережі



відновлювати зображення. Подаючи на вхід тестове зображення й обчислюючи якість реконструйованого зображення, можна оцінити загальну якість розпізнавання мережі. Позитивні властивості цього методу полягають у тому, що мережа може відновлювати перекручені і зашумлені зображення, але для більш серйозних цілей він не підходить.

Багатошарові нейронні мережі (БНМ). Крім того, що будь-яка навчена БНМ у деякій мірі може визначити приналежність образів до певного класу, її можна спеціально навчити надійному детектуванню визначених класів. У цьому випадку вихідними будуть класи приналежні і не приналежні до заданого типу образів [45–47].

Нейронні мережі Хопфілда є одношаровими і повнозв'язними (зв'язки нейронів на самих себе відсутні, виходи зв'язані з входами). На відміну від автоасоціативної пам'яті НМ Хопфілда ідеально точно відновлює образ, «згадуючи» найбільш близький [46].

Самоорганізуючі нейронні мережі Кохонена забезпечують топологічне впорядкування вхідного простору образів і дозволяють безупинно відображати вхідний  $n$ -мірний  $m$ -мірний,  $m \ll n$ .

Когнітрони. За своєю архітектурою схожий на структуру зорової кори, має ієрархічну багатошарову організацію, у якій нейрони між шарами зв'язані тільки локально. Навчається конкурентним навчанням (без учителя). Когнітрон є могутнім засобом розпізнавання зображення, однак вимагає високих обчислювальних витрат, які на сьогоднішній день неможливі [47].

Проаналізуємо перераховані вище методи розпізнавання зображень. В загальному випадку спеціалізовані методи розпізнавання, хоча і прості за своїм змістом, але не достатньо гнучкі і універсальні. Для інших методів необхідні наперед визначені обмежені критерії розпізнавання, деякі мають дуже вузьку галузь застосування, інші можуть розпізнавати лише чисте зображення. Одним із нових підходів до розпізнавання образів є розпізнавання за допомогою НМ. Нейромережеві методи забезпечують швидке і надійне розпізнавання зображень. Однак при застосуванні цих методів до зображень тривимірних об'єктів виникають труднощі, пов'язані з просторовими поворотами і зміною умов освітленості. При цьому можна помітити, що перераховані вище підходи та методи до розпізнавання зображень у більшості випадків перетинаються.

Спробуємо подати узагальнену класифікацію методів розпізнавання зображень, об'єднавши їх за чотирма загальними підходами до розв'язання задачі розпізнавання зображень: кореляційні, ознакові, синтаксичні та нейромережеві. При цьому кожний з підходів до розпізнавання має право на існування. Більше того, у рамках кожного під-

ходу є свої конкретні алгоритми, що мають визначену сферу застосування, що залежить від характеру розходжень вхідних і еталонних зображень, від завад у полі зору, вимог до обсягів обчислень і швидкості прийняття рішень. Поряд з основними підходами та методами розпізнавання зображень виділимо основні інформаційні процеси, що відбуваються в інформаційних середовищах розпізнавання зображень та системах технічного зору (рис. 1.2):

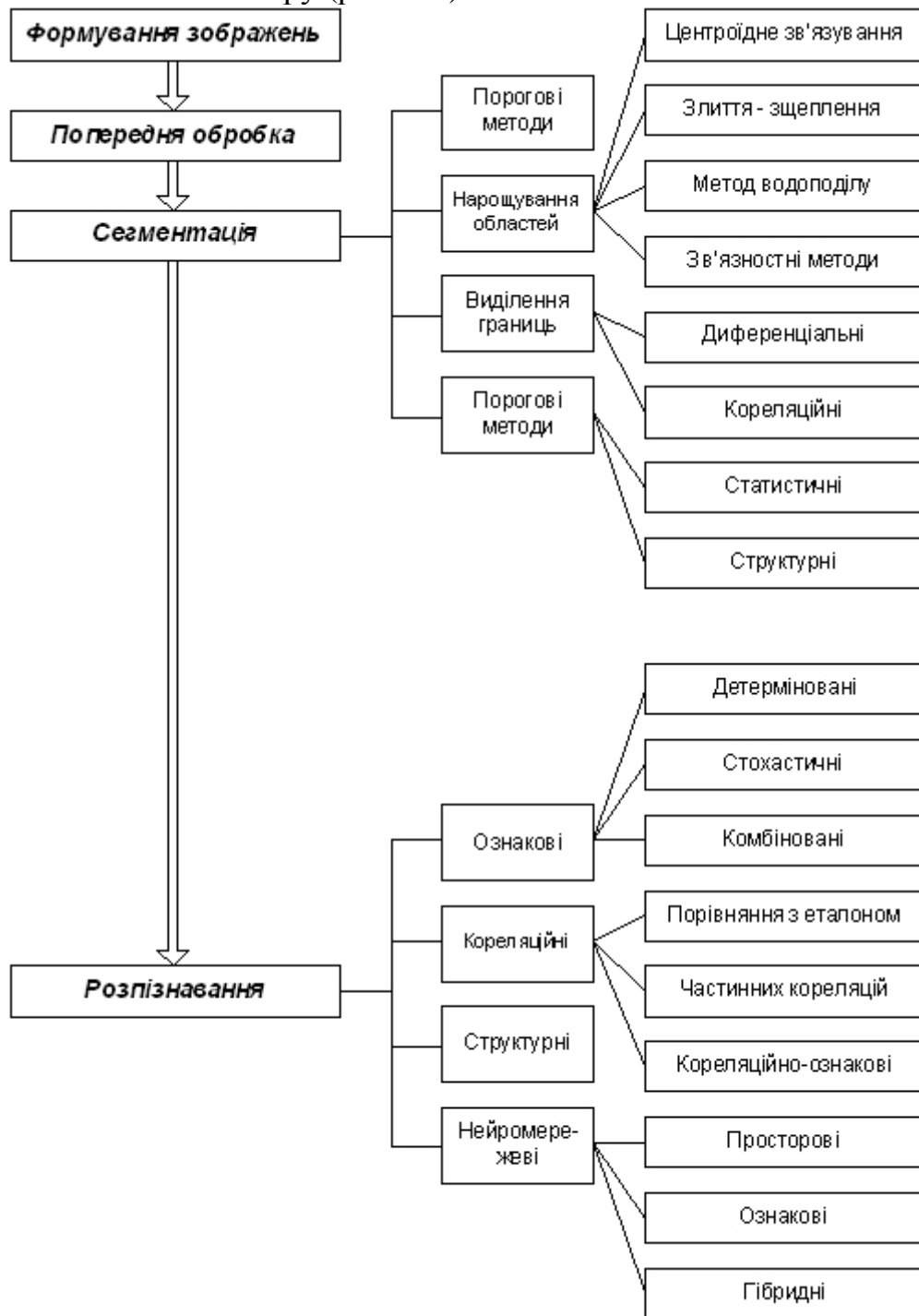


Рисунок 1.2 – Основні інформаційні процеси та методи розпізнавання зображень

## 1.4 Око-процесорні пристрої для обробки зображень

З розвитком технічних засобів та збільшення вимог до них зростає потреба в нових ефективних методах аналізу зорової інформації. Цей факт безпосередньо пов'язаний з необхідністю зменшення розриву між необхідними обсягами оброблюваної інформації і можливостями послідовних процедур обробки в застосовуваних традиційних обчислювальних засобах [16, 48–51]. Таке протиріччя пояснює дослідження нових шляхів для створення високоефективних технічних засобів обробки зображень.

Можна лише констатувати, що “ідеальним” пристроєм перетворення оптичної інформації є око, а пристроєм аналізу інформації – мозок, який виконує свої функції за допомогою прийняття рішення на двох рівнях логіки: “правда”–“неправда”, які змінюють свої результати часом. Тому з позицій біоніки виправдана назва технічних засобів для обробки зображень як логіко-часових око-процесорів. На сьогодні такі пристрої виконують ряд фізичних функцій, що полягають у розпізнаванні деякого об'єкта в заданому класі плоских зображень і в автоматичному відстеженні параметрів виділеного об'єкта зображення в умовах його еволюції. Але сам принцип такої обробки передбачає досконалу обробку більш складних динамічних об'ємних об'єктів.

Обробка оптичної інформації в пристроях око-процесорного типу заснована на принципі паралельної обробки, яку можна сформулювати таким чином: для довільного перерізу логіко-часовий перехід виконується за квант часу паралельно для всіх точок зображення [52–56].

Для реалізації первинної гіпотетичної моделі початкової стадії зорового сприйняття (рис. 1.3) пропонується однорідна структура, що об'єднує функції аналого-цифрового перетворення, обробки, запам'ятовування, сенсорного введення й індикації в одному багатофункціональному розподіленому пристрої при мінімальних апаратних витратах [20].

Метод прийняття рішень для наведеної моделі базується на введенні модульно-кореляційної функції (МКФ) [16].

$$МКФ[o(\tau_1), o(\tau_2)] = \sum_i \sum_j a_{ij} [o(\tau_1) \oplus o(\tau_2)], \quad (1.3)$$

де  $a_{ij}$  – значення “додавання за модулем 2”  $ij$ -точок перетинів зображень  $o(\tau_1)$  і  $o(\tau_2)$ .

Око-процесор під час здійснення основних функцій, які пов'язані із розпізнаванням і відстеженням об'єктів, виконує обчислення МКФ протягом такту  $\tau$ . При цьому прийняття рішень виконується на основі оцінювання МКФ (1.3).

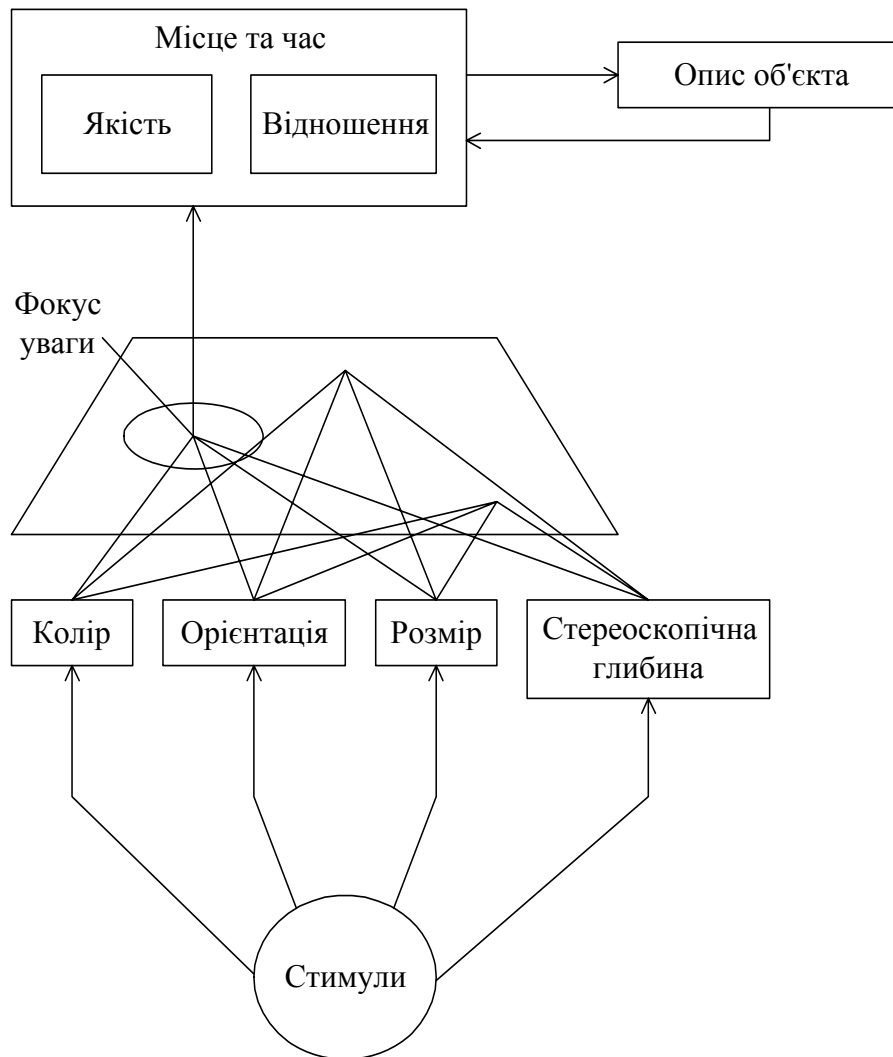


Рисунок 1.3 – Гіпотетична модель початкової стадії зорового сприйняття

Око-процесор під час здійснення основних функцій, які пов'язані із розпізнаванням і відстеженням об'єктів, виконує обчислення МКФ протягом такту  $\tau$ . При цьому прийняття рішень виконується на основі оцінювання МКФ (1.3).

На базі сучасної електронної елементної бази досить важко здійснити реалізацію пристрою око-процесорного типу з дотриманням всіх необхідних умов обробки інформації, тому можна стверджувати, що з боку забезпечення око-процесорної обробки, найдоцільніше застосовувати оптоелектронні елементи.

Оптоелектронний око-процесор найбільш ефективний при виконанні спеціалізованої задачі, коли є жорсткі алгоритми функціонування. При цьому його структура визначається характером розв'язуваної задачі.

У загальному вигляді структурна схема подана на рис. 1.4 [16, 54]. Розвиток систем розпізнавання образів у наш час іде шляхом створення спецобчислювачів моментних ознак як самостійних, так і в структурі оптоелектронних процесорів обробки зображень, що функціонують у реальному часі [57, 58].

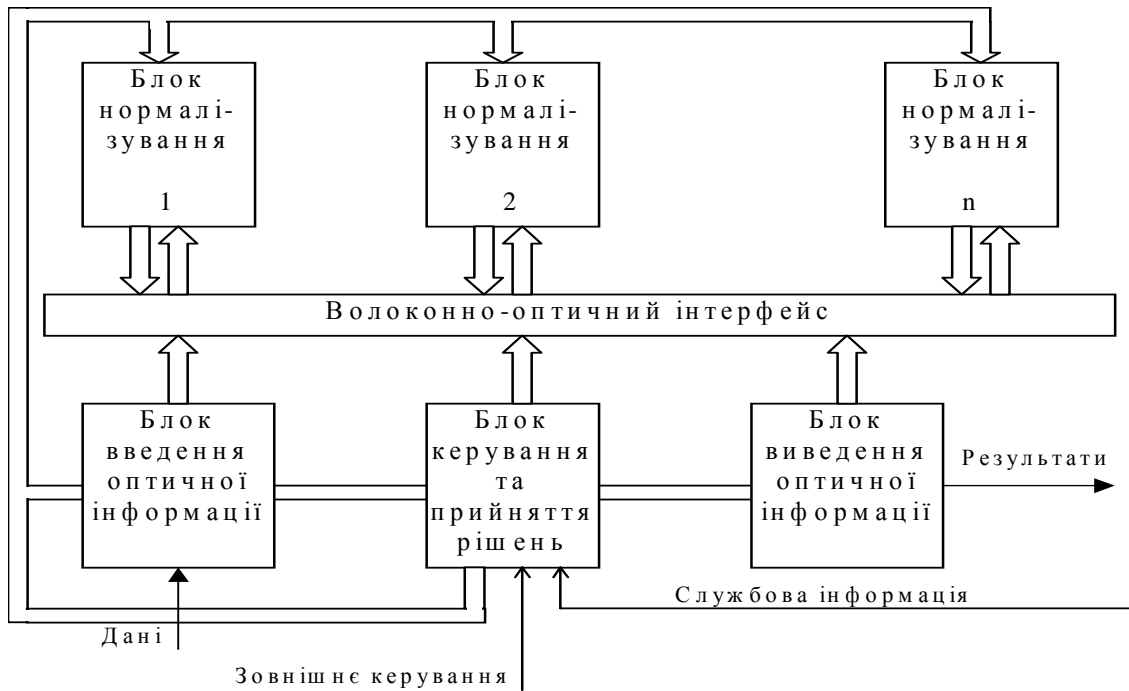


Рисунок 1.4 – Структура око-процесора

Єдина форма представлення багатотонових зображень у вигляді набору бінарних розрядних зрізів, цифровий спосіб обробки, адаптивність, гнучкість і універсальність із погляду виконання лінійно-алгебраїчних операцій обробки спонукають до необхідності розробки багатофункціональних однорідних оптоелектронних блоків із паралельними входами-виходами, об'єднаних у структуру оптоелектронного процесора обробки зображень, наведену на рис. 1.4. [16].

#### 1.4.1 Розпізнавання зображень за ознаками та загальна класифікація ознак об'єктів

В наш час широкого застосування набули методи та засоби розпізнавання, які базуються на виділенні ознак зображень. Підхід до обробки зображень з боку виділення ознак дозволяє з великою достовірністю виконувати розпізнавання об'єктів, причому чим більше ознак виділяє засіб обробки, тим більша достовірність розпізнавання [34, 59].

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-219-8>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-219-8>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-219-8>

*Наукове видання*

**Кожем'яко Володимир Прокопович  
Мартинюк Тетяна Борисівна  
Суприган Олена Іванівна  
Клімкіна Дар'я Ігорівна**

**КВАНТОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА  
ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ЛОГІКО-ЧАСОВИХ  
СЕРЕДОВИЩАХ  
ДЛЯ ОКО-ПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ**

Монографія

Редактор Т. Ягельська

Оригінал-макет підготовлено Д. Клімкіною

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

Підписано до друку 15.05.2007р.  
Формат 29,7×42 ¼ Папір офсетний  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 7,39  
Наклад 100 прим. Зам № 2007-078

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