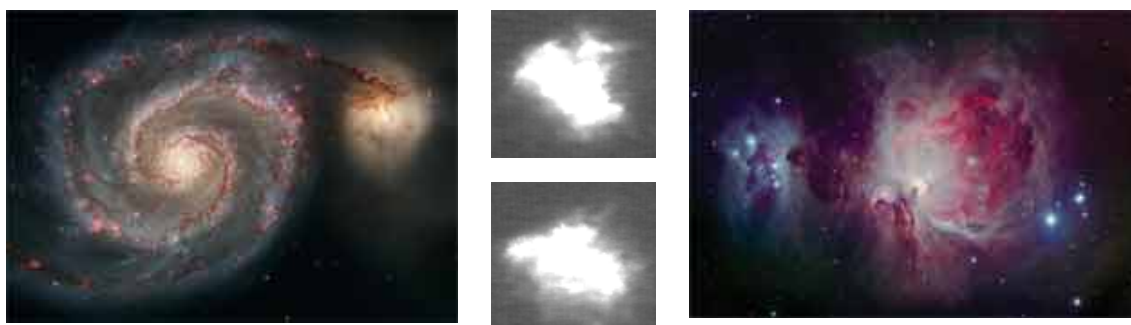


**С.І. КОРМАНОВСЬКИЙ, В.П. КОЖЕМ'ЯКО**



**ОКО-ПРОЦЕСОРНА ОБРОБКА ТА РОЗПІЗНАВАННЯ  
ОБРАЗНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ГЕОМЕТРИЧНИМИ  
ОЗНАКАМИ**



Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/446>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

С.І. КОРМАНОВСЬКИЙ  
В.П. КОЖЕМ'ЯКО

**ОКО-ПРОЦЕСОРНА ОБРОБКА ТА  
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗНОЇ ІНФОРМАЦІЇ  
ЗА ГЕОМЕТРИЧНИМИ ОЗНАКАМИ**

**Монографія**

УНІВЕРСУМ-Вінниця  
2008

---

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/446>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 681.32: 621.38

К 66

*Рецензенти:*

**В. М. Кичак**, доктор технічних наук, професор

**Л. І. Тимченко**, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 24.05.07)

**Кормановський С. І., Кожем'яко В. П.**

К 66 Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 160 с.

ISBN 978-966-641-240-2

В монографії розглядається розвиток інформаційних технологій, які спрямовані на підвищення продуктивності обробки образної інформації за геометричними ознаками в автоматизованих інформаційно-розпізнавальних системах око-процесорного типу і орієнтовані на сучасні нанотехнології. Показано структуру оптоелектронних однорідних обчислювальних середовищ для реалізації методів обробки зображень і визначення геометричних ознак. Наведено засоби представлення образної інформації, які можуть бути використані для прийому, запам'ятовування, оптичної обробки та передачі візуальної інформації.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються створенням образного комп'ютера око-процесорного типу.

**УДК 681.32: 621.38**

**ISBN 978-966-641-240-2**

© С. Кормановський, В. Кожем'яко, 2008

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/446>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ГАЛУЗІ ОБРОБКИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ОЗНАКАМИ</b> .....	9
1.1. Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку інформаційних технологій в галузі обробки образної інформації .....	9
1.2. Аналіз сучасних методів опису ознак зображень .....	14
1.3. Аналіз методів розпізнавання образної інформації за ознаками .....	23
1.4. Проблеми створення АСУ з обробкою образної інформації .....	30
Висновки .....	33
<b>Розділ 2. МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОЗНАК ТА ФОРМАЛЬНІ МОДЕЛІ ОПИСУ ЗОБРАЖЕНЬ</b> .....	34
2.1. Формування центра зв'язності і осі орієнтації зображень .....	34
2.2. Метод визначення площі та кута орієнтації бінарного зображення з незакономірним контуром та його формалізація .....	43
2.3. Структурно-аналітичний опис прямоподібних зображень і їх параметризація .....	45
2.4. Класифікація форми контуру прямоподібних зображень .....	50
2.5. Комп'ютерно-орієнтовані методи визначення об'єму та площі бічної поверхні просторових фігур .....	58
Висновки .....	62
<b>Розділ 3. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ОКО- ПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....	63
3.1. Розроблення оптоелектронного логіко-часового середовища для визначення площі бінарних зображень ...	63
3.2. Структурна організація пристрою для визначення кута орієнтації .....	66
3.3. Апаратна реалізація ОООС для обробки просторових фігур .....	69
3.4. Розроблення операційних засобів паралельної обробки інформації з використанням багатофункціональних на- півпровідникових світловипромінювальних приладів	73

Висновки .....	81
<b>Розділ 4. КЛАСИФІКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОТОТИПУ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ОБРАЗНОГО КОМП'ЮТЕРА ОКО-ПРОЦЕСОРНОГО ТИПУ .....</b>	<b>82</b>
4.1 Око-процесор як базова модель прототипу образного комп'ютера .....	85
4.1.1. Схема класифікації структурних і функціональних моделей образного комп'ютера .....	88
4.1.2. Особливості KVP-перетворення при паралельному обробленні за зв'язністю .....	90
4.1.3. Узагальнене Q-перетворення .....	92
4.1.4. Паралельно-ієрархічне перетворення .....	94
4.2. Віртуальна мультиелементна система око-процесорного типу на одному чіпі .....	96
4.3. Оптичні нейронні мережі .....	101
4.4. Операції паралельного порівняння зсуву зображень, як базова функція синтезу.....	113
4.4.1. Види оптоелектронних пристроїв для паралельного порівняння зображень .....	113
4.4.2. Області обчислювальної техніки, методи і пристрої для порівняння зображень .....	115
Висновки .....	125
<b>Розділ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ТА ПРОСТОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ .....</b>	<b>126</b>
5.1. Моделювання і дослідження центра зв'язності зображення .....	126
5.2. Дослідження методу обчислення площі бінарного зо- браження .....	129
5.3. Комп'ютерне моделювання і дослідження прямоподібних зображень лазерних трас .....	131
5.4. Експериментальні дослідження визначення геометричних ознак фігур обертання .....	135
Висновки .....	140
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>141</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ	- автоматизовані системи управління
БНСП	- багатофункціональний напівпровідниковий світловипромінювальний прилад
ВОЛЗ	- волоконно-оптичні лінії зв'язку
ДАП	- двоскерована асоціативна пам'ять
ДЗ	- дискретизоване зображення
ЛЧС	- логіко-часові середовища
ЛЧФ	- логіко-часові функції
МДН	- метал-діелектрик-напівпровідник
НСС	- нормоване споживання струму
ОБЕ	- оптичні бістабільні елементи
ОІ	- образна інформація
ОК	- образний комп'ютер
ОКОП	- образний комп'ютер око-процесорного типу
ОООС	- оптоелектронні однорідні обчислювальні середовища
ОПОР	- око-процесорна обробка і розпізнавання
ОС	- обчислювальні системи
ПБОЕС	- просторово-безперервні оптоелектронні структури
ПДОЕС	- просторово-дискретні оптоелектронні структури
ПЕ	- процесорний елемент
ПЗ	- прямоподібні зображення
ПСК	- перетворювач струм-код
ПСС	- перетворювач світло-сигнал
ІТ	- інтелектуальні інформаційні технології
СМЗ	- системи машинного зору
СОРОІ	- система обробки та розпізнавання образної інформації
УКП	- узагальнене контурне препарування
УПЗП	- узагальнене просторово-зв'язане препарування
ШНМ	- штучні нейронні мережі

## ВСТУП

Сучасні прогресивні інформаційні технології наближаються за своїми можливостями до однієї з найважливіших науково-технічних проблем – створення на рівні людського сприйняття та мислення засобів обробки та розпізнавання зображень. Процеси інформатизації, набуваючи глобального характеру, орієнтуються не лише на традиційні підходи, тому значно актуалізуються процеси створення новітніх інформаційних технологій. Для їх подальшого розвитку необхідно створити формальні методи опису образної інформації в контексті розвитку складних систем перетворення, обробки та розпізнавання інформації. З метою створення принципово нових інформаційних технологій і систем Кабінет Міністрів України своєю постановою від 08.11.2000 р. №1652 схвалив Державну науково-технічну програму "Образний комп'ютер". Реальною альтернативою українському образному комп'ютеру стали оптоелектронні логіко-часові обчислювальні середовища око-процесорного типу.

В процесі роботи автоматизованих систем управління чітко відслідковуються три етапи. На першому етапі вирішується задача розпізнавання ситуації чи явища, на другому етапі відповідно до критеріїв, приймається рішення, на третьому – реалізується рішення та здійснюється управління [1, 2, 7]. Таким чином, системи розпізнавання є базою побудови і функціонування автоматичних та автоматизованих систем управління практично всіх класів [37]. Обробка та розпізнавання зображень широко використовуються в різних галузях науки і техніки, де застосовують різноманітні методи обробки, ідентифікації і розпізнавання двовимірних і тривимірних зображень. Ідентифікація зображень складається з порівняння результатів аналізу описів ознак з геометричними даними об'єктів. Структурно-символьний опис містить відомості про тип і форму, положення й орієнтацію об'єкта в полі зору відеодатчиків, які використовують для зіставлення сцени та ідентифікації з еталонами. Однією з центральних задач автоматизованих систем розпізнавання образної інформації є ідентифікація схожих об'єктів, які швидко рухаються у просторі в реальному часі. Однак такі складні задачі розпізнавання важко вирішити методами телевізійно-обчислювальної техніки. Оптико-електронні методи розпізнавання дуже вигідно відрізняються від інших методів і систем обробки інформації тим, що вони мають можливість побудови систем з багатоканальною обробкою динамічних зображень в реальному часі. Ці методи доцільно застосовувати з метою попередньої обробки зображень (фільтрація, виділення контуру і т.п.) для формування первинних параметрів опису вхідного образу. Для підвищення оперативності і якості



такого розпізнавання необхідно ввести геометричні ознаки, які можна сформувати із силуетного контуру зображення.

В монографії розглядається подальший розвиток інформаційних технологій, спрямованих на підвищення продуктивності автоматизованої інформаційно-розпізнавальної системи око-процесорного типу для обробки і розпізнавання образної інформації, а також розроблення нових методів та алгоритмів аналізу зображень, які базуються на використанні геометричних ознак, та операції паралельного порівняння і зсуву, як базові функції синтезу нанотехнологічного око-процесора.

**У першому розділі** проаналізовано сучасний стан і перспективи розвитку інформаційних технологій в галузі обробки образної інформації. Розглянуто підходи опису зображень і класифікацію геометричних ознак. Проаналізовано методи розпізнавання образної інформації за ознаками, дано загальну характеристику задач розпізнавання образів і їхні типи. Одним із якісно нових підходів у системі методології сучасних інтелектуальних структур є наукові дослідження, які здійснюються в напрямі створення образного комп'ютера (ОК), око-процесорного типу (ОКОП) що відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні.

Проаналізовано методи і підходи структурного опису зображень і представлення форми об'єкта.

Доведено, що в даний час життєво важливим питанням є створення автоматизованих систем око-процесорної обробки і розпізнавання (ОПОР) образної інформації в реальному часі. Така система з оптико-електронним око-процесором повинна виконувати паралельно-послідовну обробку образної (візуальної) інформації, робити аналіз, контроль і автоматичну класифікацію зображень.

**В другому розділі** розглянуто методи та формальні моделі формування геометричних ознак для автоматизованої око-процесорної обробки, аналізу та розпізнавання зображень з незакономірним контуром.

Запропоновано методику визначення і формування геометричних ознак і новий підхід структурного опису плямоподібних зображень і зв'язаних з ним геометричних параметрів методом ланцюгового кодування контуру в полярній системі координат. Розроблено класифікацію форми плямоподібних зображень та методику і алгоритми обчислення об'ємів та площ бічних поверхонь тривимірних опуклих фігур і фігур обертання.

**В третьому розділі** розглядаються технічні реалізації засобів автоматизованої системи ОПОР плоских та об'ємних зображень. Традиційні засоби обчислювальної техніки, стосовно задачі розпізнавання



зображень, вимагають суттєвої проблемної переорієнтації методів обчислень. Використання матриць однорідних процесорних елементів (ПЕ), які виконують одночасно однотипні операції, привело до створення однорідних обчислювальних середовищ (ООС), а втілення оптоелектроніки для реалізації оптоелектронних ООС дозволили створити технічні пристрої паралельного введення-виведення і обробки зображень з принципово якісним підвищенням комутаційної гнучкості та багатофункціональності. Підвищити продуктивність ООС, обчислюючи площі, кут орієнтації плоских фігур, а також площі бокової поверхні і об'єми тривимірних фігур, дозволяють нові методи, засновані на геометричних підходах.

**В четвертому розділі** показані особливості класифікаційної моделі для прототипу образного комп'ютера, які представлені в роботі [72]. Показано відмінні особливості відомих типів перетворення і методів оброблення сигналів і зображень у контексті око-процесорного оброблення інформації. Розвиток нанотехнологій у напрямку створення віртуальної мультиелементної системи око-процесорного типу на одному чіпі [24]. Розглянуто можливість реалізації нейронних мереж у вигляді оптичних систем.

Розглянуто пристрої для паралельного порівняння зображень трьох типів – компаратори зображень, пристрої порівняння-віднімання зображень і пристрої для визначення ступеня збігу зображень. Вони необхідні при побудові оптоелектронних процесорів, кореляторів зображень і нейрокомп'ютерів. Проведено класифікацію і порівняльний аналіз відомих пристроїв для порівняння зображень.

**В п'ятому розділі** описані результати проведення експериментальних досліджень і комп'ютерне моделювання обробки бінарних зображень та тривимірних просторових фігур. Здійснено програмну реалізацію розроблених методів і алгоритмів обробки плямоподібних зображень об'єктів лазерних трас.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ГАЛУЗІ ОБРОБКИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ОЗНАКАМИ

### 1.1. Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку інформаційних технологій в галузі обробки образної інформації

Інформатизація усіх сфер життя – це всезагальний та необхідний процес, який забезпечує становлення інформаційного суспільства в Україні. Однак, сучасні процеси інформатизації, набуваючи глобального характеру, повинні орієнтуватися не лише на традиційні підходи. Значно актуалізуються процеси створення новітніх інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ).

Інтелектуальні інформаційні технології – це високі інформаційні технології, які моделюють та відтворюють елементи інтелекту людини. ІТ – об'єктивна реальність, проте при їх створенні є проблеми та труднощі. Одна із основних — обмежені можливості сучасних обчислювальних машин. Це пояснюється рядом причин. Однією із них є необхідність переходу до ІТ, які базуються на паралельних обчисленнях. Під терміном “паралельні обчислення” необхідно розуміти сукупність питань, які відносяться до створення ресурсів паралелізму в процесах вирішення задач та гнучкого керування реалізацією цього паралелізму з метою досягнення найбільшої ефективності використання обчислювальної техніки.

Паралельність – це загальна закономірність всього реального. Чи йдеться про явища в природі, про складні технічні процеси, чи навіть, про зміни в суспільстві, завжди вони надзвичайно паралельні. Паралельність має цікаві вияви не лише в конкретному фізичному світі, а й в абстрактних процесах. Людський мозок працює також паралельно. Причиною вищої продуктивності мозку, порівняно з супер-ЕОМ, є паралельна обробка інформації. А тому, одним із основних напрямів збільшення ефективності засобів цифрової обчислювальної техніки є пошук архітектурних рішень, які б сприяли реальному переходу від послідовної машини фон Неймана до паралельного виконання основних та допоміжних процесів в обчислювальних системах. Це потребує переосмислення ідей Ч. Бебіджа про логічну структуру обчислювальних машин і переходу на інші фізико-технологічні основи подання інформації, наближення її до природного паралельного перетворення й ієрархічної обробки.

Паралельні суперкомп'ютери належать до найновітніших розробок в галузі обчислювальної техніки. Це стимулює фахівців, що ма-

ють певний досвід у розробці паралельних алгоритмів, програм, структурних та системних рішень паралельної обчислювальної техніки до постановки нових задач в сфері застосування паралельних систем. Ще однією важливою причиною, що обумовлює обмежені можливості сучасних обчислювальних машин є те, що вони погано оперують з візуальною інформацією, образами. Останнім часом в наукових публікаціях [26, 99] обґрунтовується пріоритетність образного сприйняття світу. Обґрунтування гранично ясне і зрозуміле: чим більше ми переходимо на рівень оперування образами, тим більшим обсягом інформації ми зможемо оволодіти. У принциповому відношенні виявляються обмеженості сучасного типу цифрових комп'ютерів, які оперують лише деякими видами символічної інформації та зовсім неспроможні отримувати нову інформацію через образне сприйняття світу. Ставиться завдання створити новий тип комп'ютерів, які б могли працювати не лише на рівні символічної обробки інформації, але й оперувати образами [26]. Таким чином, сучасні ІТ – це високі інформаційні технології, які з урахуванням вищезазначених положень, повинні базуватися на методології паралельних обчислень, розглянутої в контексті моделювання образного сприйняття світу.

Останнім часом, у цій сфері висувається все більше нових ідей та проектів. Одним із якісно нових підходів у системі методології сучасних інтелектуальних структур є наукові дослідження, які здійснюються в напрямі створення образного комп'ютера, що відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні. Замовником Державної науково-технічної програми "Образний комп'ютер" є Міністерство промислової політики України, при підтримці Міжнародного центру ЮНЕСКО як Органу управління Програмою та Національної академії наук України. Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету є одним із співвиконавців вказаної державної програми за результатами конкурсу наукових і науково-технічних проектів Державного фонду фундаментальних досліджень [138].

Важливо відзначити близькість мети та завдань державної програми „Образний комп'ютер" з науковими здобутками, які були отримані засновниками наукових шкіл: з нанотехнологій проф. В.І. Осінського і В.Г. Вербицького та розробок структурної організації та методів обробки зображень професора В.П. Кожем'яко і наукових досліджень структур образного комп'ютера професора Т.К. Вінцюка.

Розробка таких комп'ютерів, які виконують не тільки обчислення, але й моделюють образне сприйняття світу, образне прийняття рішень і орієнтовані на виконання функціонального моделювання інтелектуальної діяльності людини відносять до проривних напрямів у

науково-технічному поступі. Ідея образного комп'ютера, в сучасному вигляді, має свою передісторію в розвитку вітчизняної комп'ютерної науки останніх десятиріч. Відзначимо вагомий внесок першовідкривачів цієї галузі досліджень ще з часів СРСР, таких як М.М. Амосов, А.І. Берг, В.М. Глушков, А.Г. Івахненко, О.В. Палагін, З.Л. Рабінович, П.Г. Костюк, А.А. Ляпунов, Ю.В. Капітонова, Г.С. Поспелов та ін.

Таким чином, перспективною є розробка структур образного комп'ютера, побудованих за принципами оптико-електронних паралельно-ієрархічних технологій як таких засобів, які були б здатні імітувати функції зорової системи людини, на оптичному рівні самостійно сприймати, обробляти та аналізувати відеоінформацію в реальному часі, з можливістю самоналагодження на конкретні умови експлуатації та оптимальною апаратно-програмною реалізацією [94, 97].

Оптико-електронні інформаційно-обчислювальні середовища логіко-часового типу [57, 59] стали альтернативою українському образному комп'ютеру око-процесорного типу [25-27, 46]. Детально такі структури розглянуті в роботах [67, 86, 88, 104]. Технологічним базисом такого комп'ютера є сучасні іонні мікро- і нанотехнології [24], що дозволяють створювати мультіелементні системи обробки зображень за ознаками на одному чіпі.

Розробки львівських вчених в галузі решітчастих структур [213] мають великі перспективи при записі і управлінні інформаційно-обчислювальними процесами за допомогою паралельних оптичних сигналів.

Для вирішення задач розробки як автоматичних, так і автоматизованих систем управління, наука часто використовує, в якості зразка, процеси інтелектуальної діяльності людини, реалізуючи у вигляді пристроїв чи алгоритмів якісь сторони людського мислення.

Такий підхід при вирішенні складних задач найбільш раціональний тому, що протягом мільйонів років еволюційного розвитку людина довела до високого ступеня досконалості свої можливості вирішувати задачі управління [6, 37, 49, 52]. Більше половини всієї інформації людина отримує через зір. Тому обробка та розпізнавання зображень широко використовується в різних галузях науки і техніки. Наприклад, в криміналістиці, в локації [35, 171], в медицині та біології [2, 17, 80, 81, 168], в робототехніці при аналізі сцен [13, 40-42, 47, 54, 116, 132, 141, 152, 161, 178, 179, 188, 189], в контролі матеріалів та середовищ [6, 114].

В роботах [19, 20, 22, 23, 43, 139, 151, 177, 196, 201] досить детально розглянуті задачі, які послідовно виникають при розробці системи розпізнавання, і вказано, що найперше для розробки системи потрібна математична модель і алфавіт класів. При такому підході, як кінцевий

результат, отримуємо вузько спеціалізовану систему, орієнтовану на певний клас задач.

У звичайній практиці обробки зображень різноманітність розв'язуваних задач завжди перевищує можливість існуючих методів [45] і засобів апаратної обробки. Тому створення вузько спеціалізованих систем в широкому розумінні менш ефективно, ніж створення універсального методу і універсальних засобів апаратної обробки з підвищеною адаптацією до інформаційної задачі або до варіації заводосигнальних обставин.

Такий підхід в 1984 році був запропонований Кожем'яко В.П. і дістав назву око-процесор [65, 145, 176]. Око-процесор – це така інформаційна інтелектуальна система, яка моделює образне відображення світу на основі сприйняття візуальної інформації довільної природи, виділяє певні властивості та ознаки середовища, оброблює їх та приймає відповідні рішення автоматично або з участю оператора.

Око-процесор виконує такі операції:

1. *Попередня фільтрація.* Передбачається усунення шумів та слабозв'язаних точок зображення, виділення вихідного зображення.
2. *Зсув зображень.* Тут виконується одночасний зсув всього зображення на задану відстань вліво, вгору, вниз всього зображення.
3. *Масштабування зображень.* При цьому виконується стискання і розширення зображення на задану величину.
4. *Поворот зображення.*
5. *Визначення центра зображення.* Під центром розуміють аналог центра мас, якщо під одиницею маси розуміти значення  $ij$  – точки в просторі обраних ознак.
6. *Виконання логічних операцій* над зображеннями.
7. *Виділення контурів* зображень заданої товщини.

Необхідною особливістю око-процесора є можливість прийняття адаптивних рішень, що обумовлено такими причинами:

1. Різноманітність простору ознак.
2. Наявність функцій прийняття рішень, що містять вагові коефіцієнти.
3. Наявність малопередбачуваних ситуацій в умовах реального функціонування.
4. Наявність ситуацій з пороговим прийняттям рішень.
5. Функціонування в умовах апріорної невизначеності.

Подальший розвиток цієї ідеї отримав назву Q-перетворення [30, 80] і в решті-решт привів до створення способу око-процесорної обробки зображень [145].

У вказаному способі око-процесорного розпізнавання зображень з виділенням ознак паралельно проектують зображення та перетво-



рюють всі параметри об'єкта у логіко-часові функції (ЛЧФ). Обробка отриманої системи ЛЧФ відбувається одночасно по кількісних та якісних каналах. При цьому в каналах якісної обробки з ЛЧФ синтезують відповідні ознаки об'єкта, а в каналах кількісної обробки з ЛЧФ формують комутаційні коди ознак. Розпізнають зображення шляхом порівняння отриманої ключової ЛЧФ з еталонними зразками бази знань. За умови неповного розпізнавання зображення здійснюється розширення бази знань, шляхом запису отриманого результату порівняння в пам'ять бази знань в якості нового еталонного зразка та визначення найбільш близького до отриманого еталонного зразка.

Спосіб розпізнавання зображень з око-процесорним виділенням ознак здійснюється за допомогою способу паралельного складання на основі виділення спільної амплітудно-часової частини для всіх сигналів, які надходять, не залежно від їх типу. Під спільною амплітудно-часовою частиною розглядається мінімальний відрізок існування ЛЧФ з однаковою амплітудою. Спочатку всі сигнали підлягають попередній обробці у вхідному блоці 1 (рис. 1.1) [82, 83, 86], під час якої відбувається перетворення сигналу у ЛЧФ.

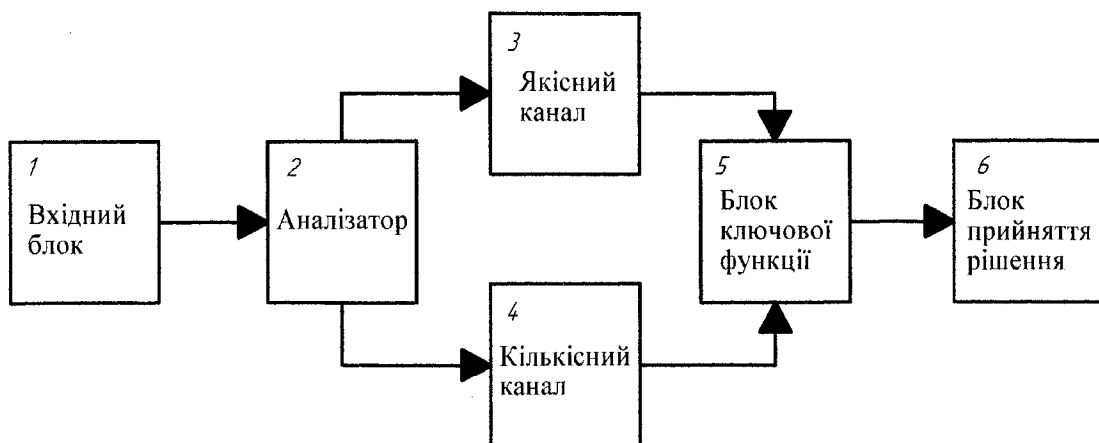


Рис. 1.1. Експертна система око-процесорного типу розпізнавання зображень на базі виділення ознак

Потім виділяють одночасно декілька спільних амплітудно-часових частин, які характеризують ознаки зображення у вигляді фізичних розмірностей та якісних характеристик зображення. В блоці 2 відбувається аналіз якісних характеристик сигналів, за допомогою якого відбувається розподіл вхідної інформації на два канали: якісний канал 3 та кількісний канал 4; обробка даних в цих каналах проводиться паралельно і в результаті отримуються ЛЧФ. Операція синтезу ознак містить в собі ієрархічне додавання згідно з ієрархічною структурою, яка формується у відповідності з конкретними вимогами, що висуваються

до розпізнавання зображень. В блоці 5 формується цільовий кодер, який в результаті виконання спеціальних операцій модифікується у ключову ЛЧФ. Кожну нову ключову ЛЧФ аналізують та порівнюють в 6-му блоці з еталонними зразками бази знань.

Експериментальна ідентифікація складається з аналізу отриманої ключової функції на інформативність, визначення найбільш близького еталона з метою з'ясування типу зображення, та визначення можливих варіантів розширення бази знань за ступенем наближення отриманого результату до еталона з подальшим емпіричним уточненням.

Розпізнавання зображення відбувається на якісно новому рівні шляхом генерації неявно виражених ознак з організацією еволюційної бази знань та врахування впливу цих ознак одна на одну та на вихідну функцію, яка може описувати характеристики реального об'єкта, незалежно від типу вхідного сигналу. В якості такої функції використано ЛЧФ [96], поняття якої започатковано професором Кожем'яко В.П. і яка є подальшим розвитком апарата векторно-перемикуючих функцій Рабиновича З.Л. [166].

## **1.2. Аналіз сучасних методів опису ознак зображень**

Незважаючи на значні фундаментальні дослідження в таких галузях математики як статистика, теорія інформації, теорія імовірностей, теорія формальних граматики, а також активний розвиток практичної цифрової обробки зображень, дотепер не вироблено чітких визначень і термінів [186]. Точно кажучи, загальної теорії формалізованого визначення ознак не існує [215]. Встановлено, що “задача визначення ознак не має гарного об'єктивного рішення, а за допомогою математичних методів можна тільки визначити, які з запропонованих людиною ознак кращі за інші. Таким чином, задача визначення ознак замінюється задачею вибору ефективних ознак із заданої множини. Вибір набору ознак часто визначається завдяки інтуїції і досвіду експерта. Однак при автоматизованому розв'язанні багатьох задач важко використовувати ті ознаки, що візуально є найбільш інформативними для відмінності. Часто досить складно визначити, які саме ознаки використовуються людиною при класифікації тих чи інших образів, а також гарантувати, що їхнє використання буде ефективніше ніж набір ознак, отриманих математично” [45]. Виділення підмножини предметних ознак у наш час відбувається шляхом поділу досліджень на різні області, наприклад, робототехніку, астрофізику, медицину, картографію і т.д. При цьому в кожній області беруться до уваги ті ознаки, які, на підставі багаторічного досвіду, наукового знання й інтуїції, на думку розроблювачів, найбільш “корисні”, а всі інші вважаються шкідливим



сигналом і усуваються. Незважаючи на таке обмеження, підмножина ознак, що залишилася, усе одно виявляється занадто великою для автоматичної обробки, і подальше зменшення розмірності відбувається або за рахунок накладення різних обмежень на процес одержання ознак, або за рахунок використання складних математичних перетворень.

**Оцінка інформативності набору ознак.** Окремо взяті ознаки не несуть достатньої кількості інформації про зображення, тому їх необхідно поєднувати в групи. Однак навіть група ознак в окремих випадках може бути менш інформативною в порівнянні з іншими групами. Отже, перед тим як використовувати ту чи іншу ознаку, необхідно оцінити її інформативність. Загально визнано, що застосування достатньо простих процедур аналізу до ретельно обраних ознак дає кращий результат, ніж застосування складних методів аналізу до менш ретельно обраних ознак [4, 60]. Питанню оцінки інформативності ознак в області цифрової обробки зображень приділяється недостатня увага, нерідко в практичних задачах автори покладаються на свій досвід і інтуїцію при створенні набору інформативних ознак. При цьому людина вибирає ту ознаку, або групу ознак, які, на його думку, найбільш інформативні для розв'язання цієї конкретної задачі. Існує кілька способів, що дозволяють оцінити вплив тієї чи іншої ознаки на якість результату обробки зображення. Методи оцінки інформативності можна умовно розділити на дві групи: детерміністські і статистичні [54, 118, 195]. У *детерміністичному* підході інформативність деякої ознаки визначається як різниця між значенням параметра якості, отриманим з урахуванням даної ознаки, і без нього. Нехай мається набір ознак  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ , що характеризують зображення суб'єкта, і набір параметрів якості  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ . Кожен параметр може визначатися декількома ознаками, причому одна ознака може впливати на різні параметри. Завдання полягає в тому, щоб вибрати ознаки, що позитивно впливають на всі параметри, у яких вони задіяні [173]. Формально це записується в такий спосіб

$$\Delta P = K_1(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, \dots, P_n) - K_1(P_1, P_2, P_3, \dots, P_{i-1}, P_{i+1}, \dots, P_n), \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – визначає вплив  $i$ -ї ознаки на якість і дорівнює нулю у випадку відсутності впливу,  $-1$  у випадку погіршення якості,  $+1$  у випадку поліпшення якості.

Таким чином, розраховується вплив всіх ознак для кожного параметра якості, при цьому доцільно враховувати вагові коефіцієнти для

кожної ознаки. Недоліком даного методу можна вважати значні обчислювальні витрати, тому що для оцінки кожної нової ознаки необхідно провести весь цикл обробки і розрахувати значення параметрів якості. Інший шлях оцінки інформативності ознаки – використання *статистичних* даних. Розрахувавши математичне чекання і дисперсію ознак, можна визначити ознаки з мінімальним коливанням значення всередині класу і найбільшим розкидом значень від класу до класу [180]. Така оцінка ознаки не залежить від значень інших ознак і від зміни розмірності ознакового простору, тобто будь-яка ознака, що претендує на включення в підсумковий набір, може бути оцінена один раз і порівняна з іншими ознаками без перерахування їхніх оцінок.

**Методи формування ознак.** Існує декілька основних підходів до формування ознак: статистичний, геометричний, структурний (морфологічний), лінгвістичний, нейросистемний. Головна вимога до ознаки – це інваріантність до будь-яких перетворень зображення [15, 29, 39, 48, 117, 211]:

- плоскопаралельного зсуву;
- повороту навколо осі об'єктива;
- масштабування;
- перспективних перетворень;
- деформування;
- плавної чи довільної зміни яскравості/кольору/контрасту.

Крім інваріантності до описаних перетворень, ознака повинна бути індивідуальна, чітко визначена, постійна в часі [238]. Забезпечення цих вимог є такою ж складною задачею, як і розпізнавання образів [22, 151, 168, 169, 199, 205].

**Статистичні ознаки:** коефіцієнт кореляції, моменти різних порядків, закон розподілу, матриці суміжності [14, 36, 38, 42, 133]. Недоліками цих ознак є:

- значні обчислювальні витрати. На основі експериментальних даних виявлено, що для високоінформативних зображень число ознак при статистичному аналізі повинне складати 100-1000 [171];
- невідомість закону розподілу;
- неоднозначність опису області зображення. Дві текстури, що розрізняються людиною, мають однакові моментні ознаки першого і другого порядків. Застосування моментних ознак більш високих порядків різко збільшує обчислювальні витрати.

Незважаючи на ці недоліки, для більшості реальних зображень, ознаки, отримані на основі статистичного аналізу, здатні однозначно описувати області зображення.

Геометричні ознаки поділяються на прості і похідні. До простих ознак відносяться: периметр, площа фігури без дір, площа дір, максимальна відстань між зовнішніми рівнобіжними дотичними і границями, відстань у напрямку між зовнішніми рівнобіжними дотичними – діаметри Фере, число Ейлера. До похідних ознак відносяться: середня довжина хорди, ексцентриситет, порізаність контуру, пористість, спіральність, периметр найменшої опуклої форми, що описує об'єкт [61, 62, 128, 184, 204, 214]. Крім цього, геометричні ознаки можуть бути класифіковані на площові і контурні. Площовий опис є більш інформативним, але його складніше одержати; контурний опис одержати простіше, але при цьому губиться інформація про внутрішній зміст області, обмеженої контуром. Контурними ознаками є: довжина контуру, обумовлена як число елементів у контурі; код Фрімена або ланцюговий код; кривизна лінії; апроксимація лінійними сегментами, функціями; структурна апроксимація; активний контур; спектральна характеристика; структурна функція; полярне представлення контуру; спіральна розгортка. Площовими ознаками є: площа, координати центра ваги, товщина/компактність, ексцентриситет, орієнтація області, округлість/кутастість. Недоліком цих ознак є необхідність якісної сегментації зображення на об'єкт і фон. У протилежному випадку вірогідність ознак у значній мірі знижується.

Структурні ознаки ґрунтуються на уявленні як усього зображення, так і зображення окремого суб'єкта, у вигляді сукупності деяких примітивних геометричних елементів (непохідні елементи) і їхніх відносин між собою [5]. Структурне уявлення зображення будується на базі геометричного підходу, включаючи в опис форми взаємне положення і відносини окремих елементів. Застосування структурних методів має сенс у тих випадках, коли легше визначити й обробити непохідні елементи, ніж зображення самих суб'єктів [171]. Типовим прикладом структурного опису зображення є квадродерево. Іншими структурними ознаками є дерево увігнутостей [40], морфологічне дерево [236]. Головним недоліком структурних методів є необхідність чіткого поділу зображення на об'єкт і фон, що, мабуть, неможливо в умовах реального зображення.

Лінгвістичні ознаки. Як і в структурному підході, за основу беруться непохідні елементи (геометричні примітиви), що обчислюються на зображенні і які складають словник термінальних символів. Об'єднані за визначеним правилом термінальні символи складають слова або словник нетермінальних символів, комбінації нетерміналь-

них символів складають речення [171, 215]. Граматика, що їх породжує, являє собою математичну схему, що використовується для опису правил побудови мовних конструкцій або комбінації слів і речень з окремих символів [199]. Процес граматичного аналізу або граматичного розбору полягає у визначенні можливості формування ланцюжка символів у рамках такої граматики. Недоліками цього методу є процес вибору типу непохідних елементів і трудомісткість операції відшукування останніх на реальних зображеннях. Ці два недоліки істотні, тому що точність граматичного розбору прямо залежить від точності визначення непохідних елементів. Застосування лінгвістичного підходу, як і у випадку структурного підходу, доцільно тільки тоді, коли визначення непохідних елементів значно простіше, ніж визначення й аналіз зображень самих суб'єктів.

Нейросистемні ознаки. В основу цього підходу покладений принцип дії нейронних клітин головного мозку людини. Нейрон являє собою пристрій, що складається з декількох входів, кожний з яких має свою вагову функцію, а також з одного виходу і блока підсумовування. Значення ознаки, що утвориться на виході нейрона, залежить від вхідного сигналу, вагових коефіцієнтів входів і функції порушення. Недоліком нейромережі є необхідність попереднього поділу на об'єкт і фон. Інший недолік полягає у відсутності інваріантності до усіх видів перетворень. Незважаючи на те, що існують методи нормалізації зображення, поданого на вхід системи нейроподібних елементів, застосування нейромережі до реальних зображень не дає необхідної інформації для подальшого аналізу зображення. У зв'язку з цим дані системи не знайшли широкого застосування в області цифрової обробки зображення. Головним достоїнством нейромереж є значний ступінь паралельності обчислень, і, як наслідок, значна швидкість обробки, що не може бути досягнута при використанні інших підходів [50, 135, 154, 182, 234, 241, 242].

Крім вищеописаних підходів до формування ознак, існує ще цілий ряд методів: *дистанційне перетворення* (ДП), *вейвлет-аналіз* (ВВА) [7,8] і *мультисенсорні системи*.

Існують способи ДП напівтонових зображень, однак, вони знайшли широке поширення лише в спеціальних областях, таких як обробка медичних зображень. Спроби застосування ДП до звичайних зображень не увінчалися успіхом. Хоча ДП є інваріантним до всіх типів руху, воно знаходиться в сильній залежності від якості попередньої сегментації. Більш того, ДП відчутно до змін інтенсивності і шуму.

Вейвлет-аналіз також є малоефективним для аналізу зображень, тому що одержуваний набір коефіцієнтів є неінваріантним до всіх типів перетворення, крім того, він у значній мірі залежить від зображен-





Крива представлена початковою точкою і послідовністю восьми цифр. Код зручний тим, що допускає досить прості процедури обчислення метричних характеристик фігури (площі, висоти, довжини) і її перетворення (повороту або переміщення на площині).

В ряді практичних застосувань у структурному представленні зображень опис форми об'єктів заміняється їхнім параметричним описом. При цьому найбільш часто використовуються параметри, що описують форму і розміри об'єктів. Для опису розмірів об'єктів використовують такі параметри, як площа  $S$  і периметр  $L$ . Для об'єктів, що мають порожні області (отвори), розрізняють окремо площу  $S_e$  об'єкта, обмежену його зовнішнім контуром, без отворів, і сумарну площу  $S_o$  отворів:  $S = S_o + S_e$ . Аналогічно розрізняють периметр зовнішнього контуру і контуру, що обмежує внутрішні області. Розміри об'єкта і його форму характеризує також максимальна довжина  $M$  (діаметр Мартіна) — максимальна відстань між паралельними дотичними до його зовнішніх меж. Також визначається ширина  $H$  — найменша відстань між паралельними дотичними до зовнішніх меж, що не перетинають зображення самого об'єкта. Для опису форми визначають вторинні характеристики як функції від обмірюваних первинних. До їхнього числа можна віднести такі параметри [16, 212]:  $M/H$  — ексцентриситет;  $4\pi S/L^2$  — міра округлення;  $4S/(\pi M^2)$  — міра видовження;  $S\pi/L$  — середня довжина хорди;  $S_o/S$  — пористість.

Параметри об'єкта можна визначити як характеристики деякої еталонної фігури, що найточніше описує форму і розміри об'єкта [56]. Як еталонні фігури можна взяти коло, еліпс, трапецію й інші добре вивчені в геометрії фігури. Як міру близькості можна використовувати суму квадратів відстаней від точок контуру до границі апроксимуючої фігури. Причому розміри фігури і її взаємне розташування з об'єктом, який описується, вибирають так, щоб мінімізувати функцію близькості.

*Ознакою зображення* називається його найпростіша відмітна характеристика або властивість. Деякі ознаки є природними тому, що вони встановлюються візуальним аналізом зображення, тоді як інші, штучні ознаки, отримані в результаті його спеціальної обробки або вимірів [17, 18, 29, 48, 118, 140, 161]. До природних ознак відносяться світлість (яскравість) і текстура різних областей зображення, форма контурів об'єктів [13, 41, 128, 141, 204]. Гістограми розподілу яскравості і спектри просторових частот дають приклади штучних ознак.

Для визначення параметрів положення використовують метричні ознаки, відомі з інтегральної геометрії [42, 43, 162]. До них відносяться: видовженість об'єкта  $P_1 = b/a$ ; складність контуру  $P_2 = a/L$ ; компактність фігури  $P_3 = S/a \cdot b$ ; інерційності відносно осей  $xx$ ,  $xy$ ,  $yy$ :  $P_4 =$

*Наукове видання*

**Кормановський Сергій Іванович  
Кожем'яко Володимир Прокопович**

**ОКО-ПРОЦЕСОРНА ОБРОБКА ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗНОЇ  
ІНФОРМАЦІЇ ЗА ГЕОМЕТРИЧНИМИ ОЗНАКАМИ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготував С. І. Кормановський

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 14.03.2008р.

Формат 29,7x42¼ Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman

Друк різнографічний Ум. др. арк. 9,24

Наклад 100 прим. Зам. № 2008-036

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

---

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/446>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>