

УДК 681.32 (075)

А. Г. Буда, к. т. н., доц.;

Т. Б. Мартинюк, к. т. н., доц.

## ОЗНАКОВОВИЙ ПРОСТІР МОМЕНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РОЗПІЗНАВАННІ КЛАСІВ І ПІДКЛАСІВ СИМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Розглядається підхід до модифікації моделі за статичними моментами вищих порядків. Одержано сукупності ознак, зручних для аналізу і його реалізації пристроями розпізнавання геометричних особливостей зображення.*

### Вступ

Обробка зображення за ознаками є однією з важливих задач, розв'язання яких дозволяє якісно наблизитися до створення систем технічного зору з елементами штучного інтелекту.

В теорії розпізнавання образів особлива увага привертається до вибору опису зображення та отримання інформації, зручної для пристроїв попередньої обробки та аналізу зображень [1—3].

Відомі підходи за допомогою моментів в розпізнаванні зображень виділяють інформативні ознаки, але не використовують допоміжне стиснення з метою отримання нового зображення, яке відображає його геометрію, зокрема, симетричність.

### Вибір символного опису зображення

Отримання символного опису зображень є завданням переходу від набору простих ознак зображення до значно меншого набору засобів опису. Зокрема, завдання зводиться до вибору моментних характеристик, підрахунку і аналізу числових значень з метою створення їх модифікацій і нарощування ансамблю ознак, зручних на етапі попередньої обробки зображень.

У пропонованій постановці завдання в області  $\Omega$ , що належить  $(x, y)$ , задана позитивна функція яскравості  $f(x, y)$ , геометричні моменти визначаються так:

$$m_{\alpha\beta} = \iint_{\Omega} x^{\alpha} y^{\beta} f(x, y) dx dy \quad (\alpha, \beta = 0, 1, \dots), \quad (1)$$

де  $\alpha, \beta$  — порядки моментів  $m_{\alpha\beta}$ .

Для бінарних зображень функція яскравості дискретної області  $\Omega$

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } (x_i, y_i) \in \Omega; \\ 0, & \text{якщо } (x_i, y_i) \notin \Omega, \end{cases} \quad (2)$$

де  $x_i, y_i$  — координати  $i$ -х точок, що належать зображенню.

З урахуванням виразу (1) геометричні моменти після розрахунку їх значень на інформаційному полі розмірності  $M \times N$  уздовж координатних осей  $x$  і  $y$  перепишуться у вигляді

$$m_{\alpha\beta} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N x_i^{\alpha} y_j^{\beta}. \quad (3)$$

### Перетворення зображення в нове

Процедура, що зв'язує перетворення вхідного зображення в еталонне, здійснюється за допомогою способу центрування. Для визначення сукупності координат  $\{x_{\alpha\beta}^i\}, \{y_{\alpha\beta}^i\}$  еталону стислого зображення використовується відповідно вирівнювання світлових енергій лівої і правої, верхньої і нижньої половин зображення поля зору [4]:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{X_{\alpha\beta}} \sum_{j=0}^N |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_j - y_{\alpha\beta}|^\beta = \sum_{X_{\alpha\beta}}^M \sum_{i=0}^N |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_j - y_{\alpha\beta}|^\beta; & (4) \\ \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^{y_{\alpha\beta}} |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_j - y_{\alpha\beta}|^\beta = \sum_{i=0}^M \sum_{y_{\alpha\beta}}^N |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_j - y_{\alpha\beta}|^\beta, & (5) \end{cases}$$

де  $x_{\alpha\beta}, y_{\alpha\beta}$  — координати точок «центра-образу»,  $|C|$  — модуль числа  $C$ .

Враховуючи норму матриці та її елементів, вирази (3), (4) записуються в матричному вигляді [5]

$$\begin{cases} \|m_{\text{лів.}}\| = \|m_{\text{прав.}}\|; & (6) \\ \|m_{\text{низ.}}\| = \|m_{\text{верх.}}\|, & (7) \end{cases}$$

де  $m_{\text{лів.}}, m_{\text{прав.}}, m_{\text{низ.}}, m_{\text{верх.}}$  — моменти лівої та правої, нижньої та верхньої частин центрованого зображення.

В порівнянні з відомими підходами перевагою такого є те, що етап розпізнавання передбачає не тільки центрування зображення, але і конструювання стислої області [6]. За допомогою стиснення зв'язна область зводиться до сукупності точок  $\{A_{\alpha\beta}^i\}$  «центра — образу» із заданим набором властивостей:

- центрованого зображення, що характеризує рівність площ суміжних половин зображення;
- симетричного щодо центра, що характеризує рівність моментів вищих порядків з одним із індексів нульового порядку;
- симетричного щодо центра і двох ортогональних осей, з характеристикою періоду повторення рівності моментів незалежно від вибраного індексу одночасно вздовж двох осей симетрії;
- симетричного відносно однієї осі, що характеризує період повторення рівності моментів незалежно від вибраного індексу вздовж однієї з конкретних осей симетрії;
- несиметричного зображення, що не має вищезгаданих ознак.

### Підхід до технічного рішення

Для вирішення конкретних завдань аналізу зображень використовуються аналогові і цифрові засоби, що кодують та розшифровують зображення обчислювальними пристроями. Пропонований спосіб [7] враховує два етапи центрувань: первинне і вторинне центрування.

*Первинне центрування* передбачає визначення центра тяжіння і здійснення центрування вказаних половин зображення по площі  $m_{00}$ .

*Вторинне центрування* використовує набір ознакового простору, що характеризує симетричність форми об'єкта, з метою створення і формування еталонної інформації класів симетричних зображень.

На етапі вторинних центрувань використовуються моменти вищих порядків  $m_{\alpha\beta}$ . Їх урівноваження досягається в результаті фіксації поворотів  $(\Delta\phi_i)$  і зсувів  $\{\Delta x_i\}$  і  $\{\Delta y_i\}$  щодо центра тяжіння зображення  $A_0(x_0, y_0)$ . За допомогою аналізу станів логічних сигналів, які містять інформацію про те або інше зображення, еталонна інформація вибраної математичної моделі в аналітичному виразі перетвориться в еталонну інформацію технічного пристрою.

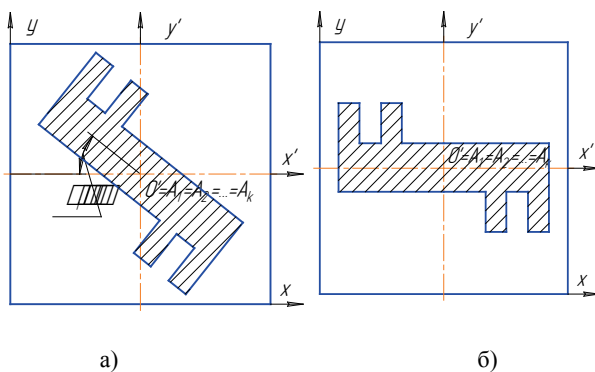


Рис. 1. Властиві ознаки стиснутого зображення з центральною симетрією

### Створення ознакового простору

В цьому випадку передбачається створення двох груп ознак.

*Перша група* враховує властивості стиснутого зображення, як результат математичного моделювання.

**Властивість 1.1.** Зображення може бути віднесено до класу з центральною симетрією, якщо в області точок «центра — образу» існує точка (центр тяжіння  $A_0$ ) (рис. 1), яка співпадає зі всіма точками нульового індекса  $\alpha$  і  $\beta$  ( $A_{\alpha 0}$  або  $A_{0\beta}$ ), тобто  $A_0 \equiv A_{\alpha 0} \equiv A_{0\beta}$ .

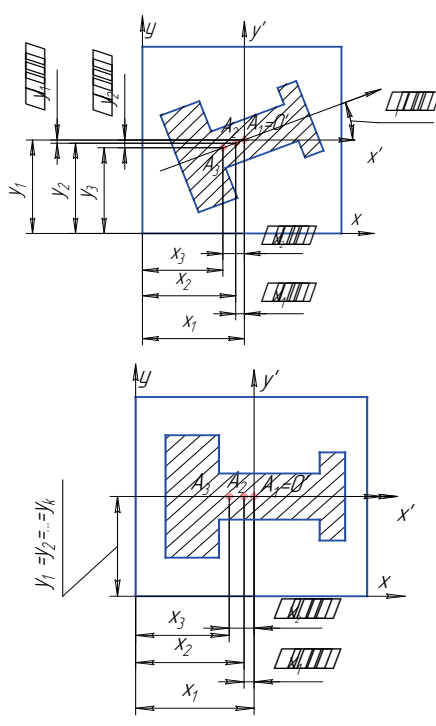


Рис. 2. Властиві ознаки стиснутого зображення з осью симетрії

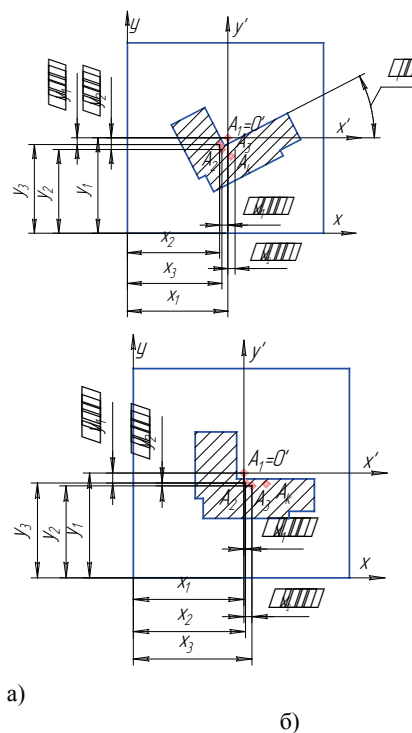


Рис. 3. Властиві ознаки стиснутого несиметричного зображення

**Властивість 1.2.** Зображення може бути віднесено до класу з осью симетрії (рис. 2а), якщо всі точки «центра—образу» належать осі симетрії  $x'$  і  $y'$ , тобто  $A_0, \{A_{\alpha\beta}^i\} \subset x'$  чи  $A_0, \{A_{\alpha\beta}^i\} \subset y'$ .

**Властивість 1.3.** Зображення може бути віднесено до класу несиметричних зображень (рис. 3а), якщо область точок «центра—образу» представляється розкидом у точок, без відмінних особливостей, тобто  $A_0 \notin \{A_{\alpha\beta}^i\}$ .

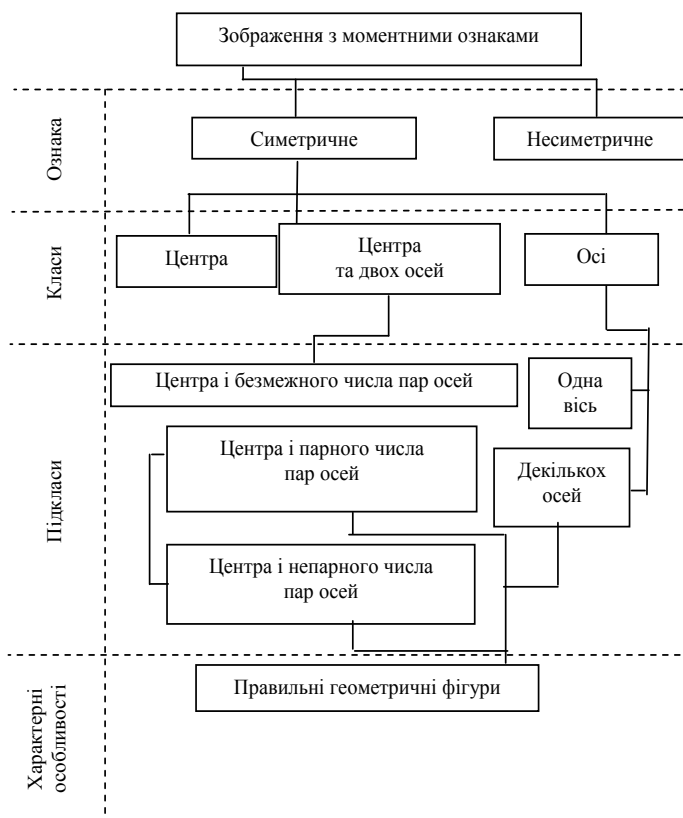


Рис. 4. Узагальнена класифікація зображень

Друга група враховує властивості стислого зображення, сприйняття яких можливо засобами апаратної реалізації.

**Властивість 2.1.** Зображення може бути віднесено до класу з центральною симетрією, якщо незалежно від повороту зображення і модуляції тінювими масками, що враховують нульовий індекс  $\alpha$  або  $\beta$ , зображення залишається стійким і не вимагає додаткових зсувів (рис. 1а, б) для досягнення його центрування, тобто  $\{\Delta x_{\alpha 0}^i\} = 0$ ,  $\{\Delta y_{0\beta}^i\} = 0$ .

**Властивість 2.2.** Зображення може бути віднесено до класу з осью симетрії, якщо при повороті його на кут, кратний  $\pi/2$ , і модуляції тінювими масками, що враховують індекси  $\alpha, \beta$  зображення залишається стійким і не вимагає додаткових зсувів (рис. 2а, б) для досягнення його центрування відносно однієї з осей  $X'$  або  $Y'$ , паралельній відповідній координатній осі  $x$  або  $y$ , тобто  $\{\Delta x_{\alpha\beta}^i\} = 0$  або  $\{\Delta y_{\alpha\beta}^i\} = 0$ .

**Властивість 2.3.** Зображення може бути віднесено до класу несиметричних зображень, якщо незалежно від повороту або модуляції тінювими масками, що врахо-

вують індекси  $\alpha, \beta$ , для досягнення центрування зображення (рис. 3а, б) потрібні зсуви вздовж осей  $x$  і  $y$ , тобто  $\{\Delta x^i\} \neq 0$  або  $\{\Delta y^i\} \neq 0$ .

Зображення класів центральної і осьової симетрії можуть бути виділені в підкласи з додатковими інваріантними ознаками [8]. Узагальнена кла-сифікація (рис. 4) характеризується відповідними рівнями: ознака за математичною моделлю; ознака, що реалізується пристроєм; клас та підклас; характерні особливості.

Для виділення еталонної інформації підкласу [9] враховується ознака класу та інваріантність його до повороту на кут  $\varphi$  (табл. 1—3).

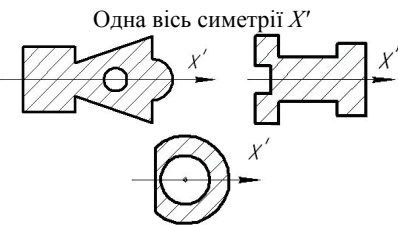
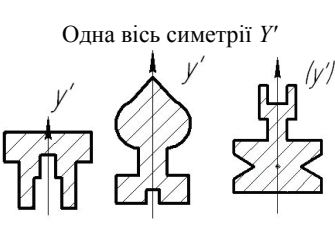
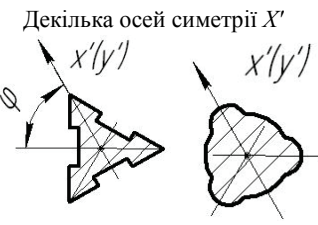
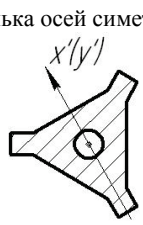
Таблиця 1

**Класи симетричних зображень**

Ознака класу за математичною моделлю			
Центральна симетрія	Осьова симетрія		Несиметричні
$A_1 \equiv A_2 \equiv \dots \equiv A_j;$ $x_1 \equiv x_2 \equiv \dots \equiv x_j;$ $y_1 \equiv y_2 \equiv \dots \equiv y_j$	Вісь $X$ $A_1, A_2, \dots, A_j \subset X';$ $x_1 \neq x_2 \neq \dots \neq x_j;$ $y_1 \equiv y_2 \equiv \dots \equiv y_j$	Вісь $Y$ $A_1, A_2, \dots, A_j \subset Y';$ $x_1 \equiv x_2 \equiv \dots \equiv x_j;$ $y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq y_j$	$A_1 \neq A_2 \neq \dots \neq A_j;$ $x_1 \neq x_2 \neq \dots \neq x_j;$ $y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq y_j$
Ознака, що реалізована пристроєм			
$\{\Delta x_i\}=0, \{\Delta y_i\}=0$	Вісь $X$ $\{\Delta x_{ij}\} \neq 0, \{\Delta y_{ij}\} = 0$	Вісь $Y$ $\{\Delta x_{ij}\} = 0, \{\Delta y_{ij}\} \neq 0$	Наявність зсувів $\{\Delta x_i\}, \{\Delta y_i\}$

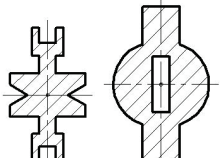
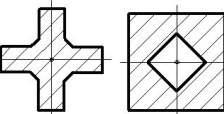
Таблиця 2

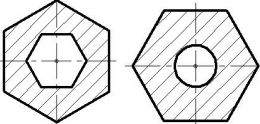
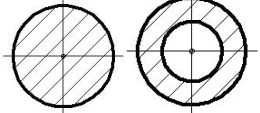
**Зображення з центральною симетрією**

Ознаки		Інваріантна ознака
Ознака класу за математичною моделлю		Продовження таблиці 2 $\begin{matrix} \pi & n' \\ \cdot & n \end{matrix}$ $n$ — число осей $X'$ чи $Y'$
Вісь симетрії $X'$ :	Вісь симетрії $Y'$ :	
$A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_k \subset X'$ ; $x_1 \neq x_2 \neq \dots \neq x_j \neq \dots \neq x_k$ ; $y_1 \equiv y_2 \equiv \dots \equiv y_j \equiv \dots \equiv y_k$	$A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_k \subset Y'$ ; $x_1 \equiv x_2 \equiv \dots \equiv x_j \equiv \dots \equiv x_k$ ; $y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq y_j \neq \dots \neq y_k$	
Ознака, що реалізується пристроєм		
$\{\Delta x_j\} \neq 0, \{\Delta y_j\} = 0$	$\{\Delta x_j\} = 0, \{\Delta y_j\} \neq 0$	
<p>Одна вісь симетрії <math>X'</math></p> 	<p>Одна вісь симетрії <math>Y'</math></p> 	$n = 2k$ $(k = 1)$
<p>Декілька осей симетрії <math>X'</math></p> 	<p>Декілька осей симетрії <math>Y'</math></p> 	$n = 2k + 1$ $(k = 1, 2, \dots)$

Таблиця 3

**Підкласи зображень з осью симетрії**

Ознаки		Інваріантна ознака
Ознака класу за математичною моделлю	Ознака, що реалізується пристроєм	$\varphi = \frac{\pi}{2p}$ , $p$ — число пар ортогональних осей $X, Y$
$A_1 \equiv A_2 \equiv \dots \equiv A_j \equiv A_{j+1} \equiv \dots \equiv A_k$ ; $x_1 \equiv x_2 \equiv \dots \equiv x_j \equiv x_{j+1} \equiv \dots \equiv x_k$ ; $y_1 \equiv y_2 \equiv \dots \equiv y_j \equiv y_{j+1} \equiv \dots \equiv y_k$	$\{\Delta x_j\} = 0, \{\Delta y_j\} = 0$	
Підкласи	<p>Пара ортогональних осей</p> 	$p = 1$
	<p>Парне число пар осей</p> 	$p = 2k$ $(k = 1, 2, \dots)$

	Ознаки	Інваріантна ознака
	<p>Непарне число пар осей</p> 	$p = 2k + 1$ $(k = 1, 2, \dots)$
	<p>Безмежне число пар осей</p> 	$p = \infty$

### Висновки

1. Запропонований підхід дозволяє перетворювати зображення точок в простіше зображення, що враховує символічний опис за допомогою функціональних характеристик.

2. Застосування набутої ознаки для виділення в класи і підкласи зображень може бути використано як для бінарних, так і напівтонових зображень, розподіл градацій яскравості яких повинен мати симетричність.

3. Запропонована математична модель і використовується подальша класифікація зображень є ефективними, оскільки стисла інформація у вигляді декількох точок (класу і підкласу) допускає обчислення і зрівноваження декількох пар моментів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений. — М.: Высшая школа, 1983. — 295 с.
2. Буда А. Г. Дослідження геометричних зображень об'єктів та формування ознак за допомогою декартових моментів // Праці 2-ї Всеукраїнської міжнародної конференції «УкрОбраз – 94». — Київ, 1994. — С. 224 — 225.
3. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой: Пер. с франц. — М.: Мир, 1985. — 285 с.
4. Пуятин Е. П., Аверин С. И. Обработка изображений в робототехнике. — М.: Машиностроение, 1990. — 318 с.
5. Дороговцев А. Я. Математический анализ. Справочное пособие. — Киев: Высшая школа, 1985. — 528 с.
6. Буда А. Г., Мартинюк Т. Б. Конструирование моментных признаков на этапах распознавания классов и подклассов изображений // 3-я «Українська конф. з автоматичного керування» «Автоматика – 96». — Севастополь: Сев ГТУ, 1996. — С. 156 — 157.
7. Патент України № 3741. Спосіб розпізнавання симетричності зображень об'єктів і пристрій для його реалізації / Кожем'яко В. П., Красиленко В. Г., Мартинюк Т. Б., Буда А. Г.
8. Буда А. Г., Мартинюк Т. Б., Лысенко Г. Л. Техническая реализация признаков, полученных на основе исследования функциональных характеристик изображений // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2002. — № 2(4) — С. 71 — 77.
9. Патент України № 52678. Пристрій для розпізнавання симетричності зображень об'єктів / Буда А. Г., Мартинюк Т. Б., Кожем'яко А. В., Андрущенко В. І.

Рекомендована кафедрою інженерної та комп'ютерної графіки

Надійшла до редакції 4.12.06  
Рекомендована до друку 18.12.06

**Буда Антоніна Героніївна** — доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, **Мартинюк Тетяна Борисівна** — доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки.

Вінницький національний технічний університет.