Базис метричних ознак аналізу контурів плоских зображень

[1]А.Г. Буда, [1]Т.Б. Мартинюк, [2]Л. М. Куперштейн

[1]Вінницький національний технічний університет, Україна
[2]Вінницький фінансово-економічний університет, Україна
antbu@ukr.net

Аннотація

Для введення класифікації щодо аналізу контурів бінарних двовимірних зображень в статті пропонується дослідження:

- метричних ознак з врахуванням зміни масштабу та подовження різних контурів;
- геометричних моментів в полярній системі координат з виділенням послідовностей ознак та застосування алгоритму їх нарощування.

1. Вступ

Сучасні технічні засоби розпізнавання здатні виконувати аналіз форми об'єкта, визначати параметри положення та виявляти його ознаки. Форми об'єкта описують за допомогою метричних, топологічних, аналітичних характеристик [1].

При дослідженні зовнішніх та внутрішніх контурів для всієї площі форми об'єктів Павлідіс передбачає їх поділ на дві частини. Описи, що побудовані на основі ланцюгових кодів Фрімена, перетворення Фур'є, автогресивні моделі забезпечують відслідковування зовнішніх контурів; а побудова скелету форми об'єкта дозволяє аналізувати внутрішні форми об'єктів [2, 3].

Обчислення декартових та полярних моментів різних порядків значно розширює простір інформаційних ознак контурів зображень [4].

2. Постановка задачі

Відомі методи визначення параметрів положення поділяють на інтегральні, контурні та характерних точок.

При застосуванні інтегральних методів параметри положення обчислюються на підставі інформації для силуету зображення. Однією із інтегральних характеристик є моменти, що враховують такі математичні моделі:

1. Проекції об'єкта, яка передбачає нормалізацію зображення і виконання відповідно трьох етапів перетворень: зсуву, орієнтації, масштабування зображень [5].

2. Інваріантних моментів, які є незмінними по відношенню до виконання операцій зсуву, орієнтування та зміни масштабу зображення.

3. Зрівноваження моментів вищих порядків з метою отримання моментної характеристики «центр-образ», що передбачає представлення зображення в стислому вигляді та конструювання ознак симетричних зображень [6, 7].

Метою роботи є дослідження зовнішньої форми плоских бінарних зображень за допомогою параметрів положення і геометричних моментів в полярній системі координат та побудова ознак симетричних зображень.

3. Математичні моделі контурних зображень

3.1. Параметри положення

В новій постановці задачі плоских зображень, що мають дискретний бінарний контур, виконано дослідження інформативності певних ознак.

На інформаційному полі M×N з параметрами подовженості a та b зображення контуру (рис. 1) попередньо центрується відносно точки O (x_0, y_0).

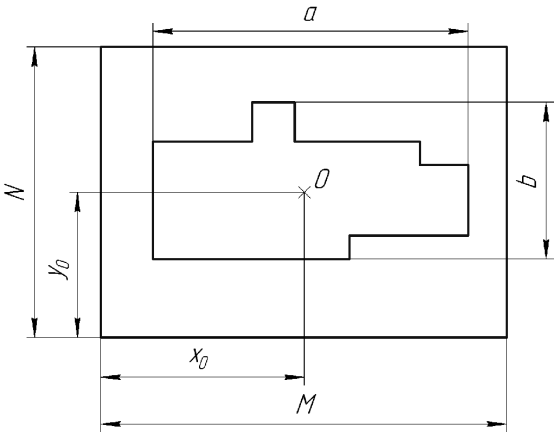

Рис. 1: Вихідне зображення контуру

Для визначення параметрів положення використовують метричні ознаки O_1 _ O_{10}, що відомі з інтегральної геометрії. До них відносять:

1. Подовженість об'єкта

$$O_{11}=\frac{b}{a}; \qquad O_{12}=\frac{a}{b}.$$

2. Складність контуру

$$O_{21}=\frac{a}{L}; \qquad O_{22}=\frac{b}{L}.$$

3. Компактність фігури

$$O_3=\frac{S}{a\cdot b}.$$

4. Інерційність відносно осей x, y, xy

$$O_{41}=\frac{I_y^2}{a^4}; \quad O_{51}=\frac{I_x^2}{a^4}; \quad O_{61}=\frac{I_{xy}^2}{a^4};$$

$$O_{42}=\frac{I_y^2}{b^4}; \quad O_{52}=\frac{I_x^2}{b^4}; \quad O_{62}=\frac{I_{xy}^2}{b^4}.$$

5. Симетричність відносно x та y

$$O_{71}=\frac{x_0}{a};\quad O_{81}=\frac{y_0}{a};$$

$$O_{72}=\frac{x_0}{b};\quad O_{82}=\frac{y_0}{b}.$$

6. Відносні характеристики

$$O_{91}=\frac{L}{a};\ O_{92}=\frac{L}{b};\ O_{10}=\frac{L}{\sqrt{S}}.$$

Дослідження контурів плоских зображень із застосуванням вказаних ознак проводились з врахуванням різних симетричних форм.

Для різних контурів двовимірних зображень (наприклад, рис. 2, а – г), що характеризують той чи інший клас, набрана достатня статистика розрахунків вказаних ознак, серед яких виділені найбільш інформативні. Дослідження проводились з врахуванням зміни масштабу та подовження контуру.

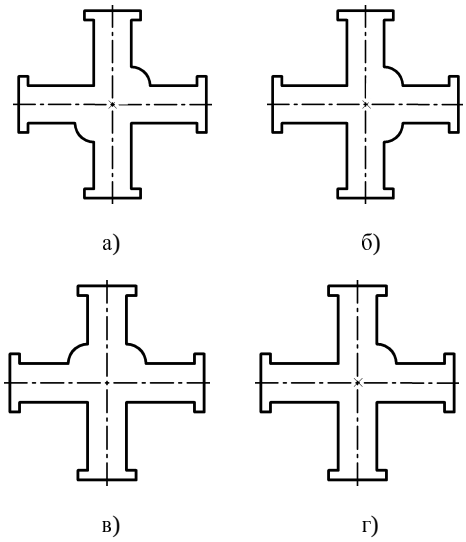

Рис. 2: Різновиди контурів зображень для визначення ознак

Для зображень з центром симетрії (рис. 2, а) інформаційні ознаки такі:

1. Однакові числові значення характерні для ознак подовженості, складності, інерційності контурів

$$\{O_{11}=O_{12};\ \ O_{21}=O_{22};\ \ O_{41}=O_{42};\ \ O_{61}=O_{62};\ \ O_{91}=O_{92}\}.$$

2. Числові значення, що дорівнюють нулю характерні для ознак симетричності відносно *x* та *y*

$$\{O_{71} = O_{72} = O_{81} = O_{82} = 0\}.$$

Для зображень (рис. 2, б, в) з віссю симетрії X (Y) інформаційні ознаки такі:

1. Однакові числові значення характерні для ознак подовженості, складності, інерційності контурів

$$\{O_{11}=O_{12};\ O_{21}=O_{22};\ O_{41}=O_{42};\ O_{61}=O_{62};\ O_{81}=O_{82};\ O_{91}=O_{92}\}.$$

2.Числові значення, що дорівнюють нулю характерні для ознак симетричності:

з осьовою симетрією X – $\{ O_{51} = O_{52} = O_{71} = O_{72} = 0\}$;

з осьовою симетрією Y – $\{ O_{51} = O_{52} = O_{81} = O_{82} = 0\}$.

3. Для несиметричних зображень (рис. 2, г) ознак, подібних попереднім не виявлено.

4. Для правильних геометричних фігур

$$\{O_{11}=O_{12}=1;\ \ O_{51}=O_{52}=O_{61}=O_{62}\}.$$

3.2. Полярні моменти

Розглянемо зображення об'єкта, контури якого вже відомі. Нехай $g(x, y)$ – яскравість світла області точок об'єкта. Ззовні об'єкта ця інтенсивність дорівнює нулю. Полярні моменти зображення визначаються за формулами:

$$C_{nm}=\iint r^{n+1}\cos m\theta\cdot g\left(r\cos\theta+x_0,\ r\sin\theta+y_0\right)dr\,d\theta, \qquad (1)$$

$$S_{nm}=\iint r^{n+1}\sin m\theta\cdot g\left(r\cos\theta+x_0,\ r\sin\theta+y_0\right)dr\,d\theta, \qquad (2)$$

де r та θ – відповідно радіус та кут в полярних координатах відносно вихідної точки, що має координати x_0, y_0.

Якщо x_0 та y_0 вибрані правильно, то перетворення буде інваріантним відносно афінних перетворень. Тому за точку відліку приймають центр тяжіння зображення, що визначається наступним чином:

$$x_0=\frac{\iint xg(x, y)dx\,dy}{\iint g(x, y)dx\,dy}, \qquad (3)$$

$$y_0=\frac{\iint yg(x, y)dx\,dy}{\iint g(x, y)dx\,dy}. \qquad (4)$$

Полярні моменти пов'язані з декартовими моментами такими рівняннями:

$C_{00}=\mu_{00}$, $\quad S_{00}=0$

$C_{11}=\mu_{10}$, $\quad S_{11}=\mu_{01}$;

$C_{20}=\mu_{20}+\mu_{12}$, $\quad S_{20}=0$;

$C_{31}=\mu_{30}+\mu_{12}$, $\quad S_{31}=\mu_{03}+\mu_{12}$;

$C_{22}=\mu_{20}-\mu_{02}$, $\quad S_{22}=2\mu_{11}$;

$C_{33}=\mu_{30}-3\mu_{12}$, $\quad S_{33}=3\mu_{21}-\mu_{03}$.

Оскільки вирази (1) та (2) передбачають дослідження замкненого контуру об'єкта складної форми без урахування дискретизації зображення, то у випадку, коли зображення перетворено у двійковий код і для нього аналізується лише контур, то полярні моменти значно спрощуються:

$$C_{nm}=\sum_k r_k^{n+1}\cos m\theta_k\ , \qquad (5)$$

$$S_{nm}=\sum_k r_k^{n+1}\sin m\theta_k, \qquad (6)$$

де число k представляє точки контуру зображення.

Аналогічно ведеться розрахунок для центра тяжіння

$$x_0 = \sum i/N \quad (7),$$

$$y_0 = \sum j/N \quad (8),$$

де N – число точок контуру; i - абсциса цих точок; j – їх координата.

Спрощені вирази вигляду (3) та (4) зручні для використання розрахунків моментів за час зчитування кадру, а досліджувані зображення в цьому випадку представляються послідовністю скалярних величин C_{nm} і S_{nm}.

Результатом відслідковування величин моментів $\{C_{nm}\}$, $\{S_{nm}\}$ для запропонованих зображень (рис. 3 – 6) отримані певні сукупності цих моментів, значення яких має певне число або дорівнює нулю. Під час обчислення до уваги були прийняті змішані показники степенів *n* та *m*, сума яких не перевищує шести.

4. Ознаки контурів зображень

Числові значення двох різновидів полярних моментів C_{nm} та S_{nm} для показаних зображень можна класифікувати так:

1. Зображення, яке має лише центр симетрії (рис. 3).

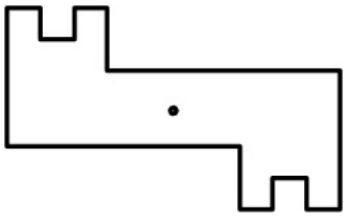

Рис. 3: Зображення з центром симетрії

Сукупність моментів $\{C_{11}, C_{12}, C_{22}; S_{11}, S_{12}, S_{22}\}$ характеризується певними числовими значеннями, інші дорівнюють нулю.

2. Зображення, яке має центр симетрії та дві ортогональні осі X та Y (рис. 4).

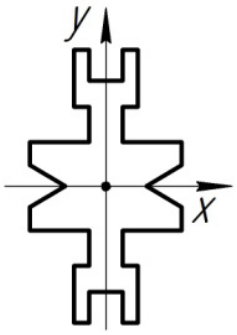

Рис. 4: Зображення з центром симетрії та двома осями симетрії

Моменти першого різновиду $C_{nm}(C_{12}, C_{22})$ характеризується певними числовими значеннями, моменти другого різновиду $S_{nm}(S_{12}, S_{22})$ дорівнюють нулю.

3. Зображення, яке має одну вісь симетрії та може бути орієнтовано в координатній системі *XOY* (рис. 5).

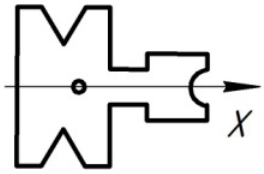

Рис. 5: Зображення з віссю симетрії *X*

3.1 Паралельно до осі *X* – вся сукупність першого різновиду моментів $\{C_{nm}\}=0$, а другі різновиди моментів S_{13}, S_{33} мають числові значення;

3.2 Паралельно до осі *У* – вся сукупність $\{C_{nm}\}$ характеризується числовими значеннями, відмінними від нуля, а вся сукупність $\{S_{nm}\}=0$.

4. Зображення без ознак симетрії (рис. 6).

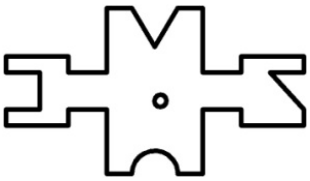

Рис. 6: Зображення без ознак симетрії

Сукупності двох різновидів полярних моментів $\{C_{nm}, S_{nm}\}$ характеризуються числовими значеннями, відмінними від нуля.

5. Варіанти нарощування ансамблю ознак

Оскільки головна інформація щодо конфігурації плоскої фігури з певним кроком дискретизації $\Delta\rho$ утримується в її контурній лінії, то варто розглянути зміну радіус-вектору ρ від $\rho=R_{min}$ до $\rho=R_{max}$ (рис. 7).

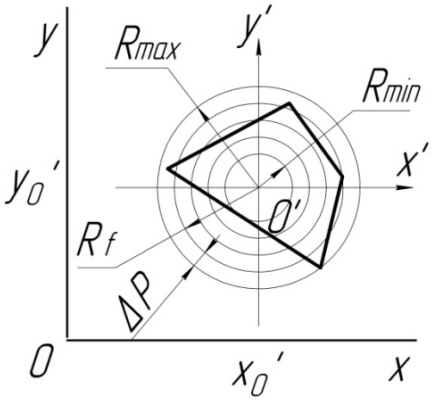

Рис. 7: Радіус-вектори фігури

Алгоритм формування додаткових моментних ознак складається з 8-ми етапів апроксимації контуру.

Етап 1: На цьому етапі алгоритму обчислюється площа фігури через координати її точок:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \frac{[(y_i + y_{i+1})(x_i - x_i + 1)]}{2},$$

де n – число точок контуру.

Етап 2. Знаходяться статичні моменти інерції контуру в вихідній системі координат за наближеними виразами.

$$I_x=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{n}(x_i+x_{i+1})\left(y_i^2+y_iy_{i+1}+y_{i+1}^2\right);$$

$$I_x=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i+y_{i+1}\right)\left(x_i^2+x_ix_{i+1}+x_{i+1}^2\right).$$

Етап 3. Визначаються координати центра ваги фігури і початок координат переносяться в цю точку:

$$x_0'=\frac{I_y}{S},\quad x_i'=x_i-x_0';\quad y_0'=\frac{I_x}{S},\quad y_i'=y_i-y_0';$$

де x_0', y_0' – координати i-ї точки контуру відносно нових осей координат (x_0' o' y_0') (рис. 8).

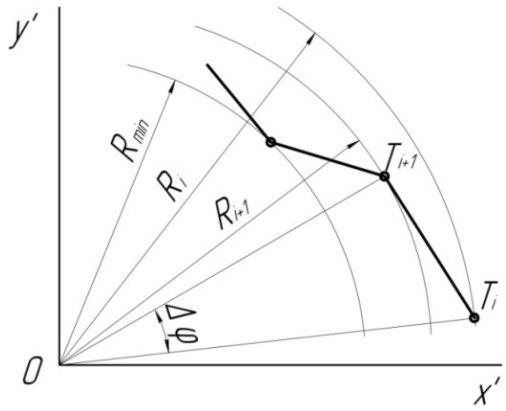

Рис. 8: Апроксимація контуру кусково-ламаною лінією

Етап 4. Визначаються величини радіусів контуру:

$$R_i=\sqrt{\left(x_i'\right)^2+\left(x_y'\right)^2}.$$

По всім точкам *i*-го контуру визначаються відстані R_{min} та R_{max}. Крім того, R_{min} знаходять по всім прямим, що з'єднують дві сусідні точки.

Етап 5. Цей етап алгоритму потрібний для визначення кроку дискретизації:

$$\Delta\rho=(R_{max}-R_{min})/J,$$

де J – загальне число кроків дискретизації радіуса R_i (для складних геометричних контурів значення J збільшується).

Етап 6. Якщо кодований контур апроксимований кусково-ламаною лінією (рис. 8), то характеристика кодованого контуру $_j$ визначається відповідною сумою:

$$\xi_j=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(\rho_j^2-\rho_{j-1}^2)\Delta\varphi_i+(R_iR_{i+1}\sin\Delta\varphi_i-\rho_{J-1}^2\,\Delta\varphi_i),$$

де $\Delta\varphi_i$ – кут між векторами R_i та R_{i+1}.

Етап 7. Знаходять площу S_{min} та нормуючий множник ξ:

$$S_{min}=\pi R_{min}^2 \text{ та } \xi=\frac{1}{S-S_{min}}.$$

Етап 8. Визначають значення додаткових ознак.

$$x_{jp}=x_k=\xi S_j\left(\frac{\rho_j}{R_{min}}\right)^{\rho}.$$

де k – порядковий номер ознаки.

Згідно запропонованого алгоритму, що складається із восьми етапів, досліджувались контури правильних геометричних фігур, зображень з ознаками симетрії та несиметричні зображення.

Розширює простір ознак дослідження контурів правильних геометричних фігур (етапи 4, 5 та 7, 8). Для зображень з центральною симетрією (наявність лише центра чи центра та двох ортогональних осей) на етапах 4, 5 та 7, 8 слід встановлювати періодичність інваріантної ознаки. Для несиметричних зображень слід вводити більш значну вибірку.

6. Висновки

Запропонована сукупність ознак контуру дозволяє:

- вводити класифікацію зображень об'єктів з розширенням її до підкласів зображень шляхом дослідження змін $\{C_{nm}\}$ та $\{S_{nm}\}$, що мають числові значення на кожному кроці кута зображення;
- визначати орієнтацію осі симетричного об'єкта зображення;
- звернутись до пошуків окремих складових частин зображення (крок дискретизації, загальне число кроків дискретизації, дискретні значення їх радіус-векторів) з метою отримання додаткових ознак.

7. Література

[1] Претт У. Цифровая обработка зображений: Пер. с англ. – Т. 2. / У. Претт – М. : Мир, 198. – 309 с.

[2] Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой : Пер. с франц. / Ф. Куафе – М. : Мир, 1985. – 285 с.

[3] Жаботинский Ю. Д. Адаптивные промышленные роботы и их применение в микроэлектронике / Ю. Д. Жаботинский, Ю. В. Исаев – М.: Радио и связь, 1985. – 104 с.
Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка зображений / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.

[4] Патент України № 3741, МПК G06 K9/00, G06 K9/58, G06 K9/52. Спосіб розпізнавання симетричності зображень об'єктів і пристрій для його реалізації/ В. П. Кожем'яко, В. Г. Красиленко, А. Г. Буда, Т. Б. Мартинюк; Заявник і патентовласник ВНТУ – №99021033, заявл. 17.12.90; опубл. 27.12.94, Бюл. №6-1.

[5] Буда А.Г. Виявлення ознак симетричних контурів плоских об'єктів / А. Г. Буда// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 5. – С. 47 – 49.

[6] Буда А. Г. / Математичні моделі аналізу контурів плоских симетричних зображень / А. Г. Буда, Т. Б. Мартинюк, Г. Л Лисенко, О. В. Король // Праці 5-ї Всеукраїнської міжнародної конференції «УкрОбраз'2000». – Київ, 2000 – С. 221 – 222.