УДК

Мельник Ю.А., Рудь В.Д.
Луцький національний технічний університет

МЕТОД ВИДІЛЕННЯ ПРЯМОЛІНІЙНИХ СЕГМЕНТІВ НА НАПІВТОНОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Запропоновано метод виділення прямолінійних контурів, оснований на перетворенні Хоуга, призначеному для апроксимації контурів аналітичними кривими. Метод використовує зазначене перетворення для обробки напівтонових зображень і виділяє прямолінійні сегменти шляхом просторового підсумовування перепадів яскравості.

Ключові слова: прямолінійні сегменти, напівтонові зображення, просторове підсумування.

Вступ. Аналіз напівтонових зображень на початковому етапі вимагає поділу видимих поверхонь об'єктів. Такий процес зазвичай називають сегментацією [1]. При цьому використовується той факт, що величина перепадів яскравості на границях поверхонь об'єктів досягає максимальних значень. Але на деяких зображеннях ця умова не дотримується. Наприклад, на знімках зразків шліфів окремих металів границя між зернами може бути менш контрастною, ніж контрастність самих зерен.. Зорова система людини без зусиль справляється з такою ситуацією і виділяє границі між зернами. У роботі [2] показано, що на певному шарі кори головного мозку є прості і складні клітини (нейрони), що підсумовують зміни яскравості уздовж прямолінійного сегмента, розташованого під певним кутом. Тому навіть слабо контрастна лінія дає сильний відгук, у той час як яскраві чи темні хаотично розкидані точки слабко впливають на результат. Подібний підхід і реалізований у пропонованому методі.

Ідея просторового підсумовування закладена в перетворенні Хоуга, яке було запропоновано в 1962 р. для апроксимації множини точок на зображенні прямими лініями [3]. У роботі [4] воно було узагальнено на випадок будь-яких аналітично заданих кривих. Для проведення даного перетворення необхідно бінарне зображення $I(x,y)$:

$$I(x,y)=\begin{cases}1, \forall(x,y) & \in \quad \text{ãðàíèö³} \\ 0, \forall(x,y) & \notin \quad \text{ãðàíèö³}\end{cases} . \tag{1}$$

Точка (x, y), в якій значення $I(x,y)$ дорівнює 1, називається контурною. При пошуку кривої передбачається, що її контур можна задати рівнянням

$$f(x,y,p_1,p_2,...,p_n)=0 \quad , \tag{2}$$

де p_1 , p_2,…, – N параметрів функції.

Мета перетворення Хоуга – визначення значень параметрів p_1 , p_2,…, p_n. Для цього задається N-мірний дискретний простір, який часто називають збиральним. Далі для кожної контурної точки (x, y) проводиться процедура голосування, що полягає в збільшенні на 1 значення всіх комірок збирального простору $H(p_1,p_{2,}...,p_n)$, координати яких $p_1,p_{2,}...,p_n$ задовольняють рівнянню (2):

$$H(p_1,...,p_n)=H'(p_1,...,p_n)+1\forall(p_1,...,p_n):\, f(x,yp_1,...,p_n)=0 \ , \tag{3}$$

де $H(p_1,p_{2,}...,p_n)$, нове значення осередку і просторі, що збирає $H'(p_1,p_{2,}...,p_n)$; - старе значення осередку у збиральному просторі.

Після проведення голосування для усіх точок контуру координати комірок у просторі Хоуга, що набрали максимальні значення, будуть відповідати параметрам фігур, що містяться на зображенні.

Мета дійсної статті – модифікувати перетворення Хоуга для оконтурювання напівтонового зображення.

Опис методу. Рівняння прямої на площині, що проходить через точку з координатами

(x, y), можна представити у вигляді:

$$p-(x\cos(q)+y\sin(q))=0, \quad (4)$$

де p – відстань від прямої до центра координат; q – кут нахилу прямої.

Тоді положення точки на даній прямій однозначно визначається параметром r:

$$r-(x\sin(q)+y\cos(q))=0, \quad (5)$$

де r — відстань від центра прямої до точки (центром прямої називається така точка, що лежить на прямої, відстань від якій до центра координат має найменше значення).

Зміст параметрів *p, q,r* показаний на рис. 1.

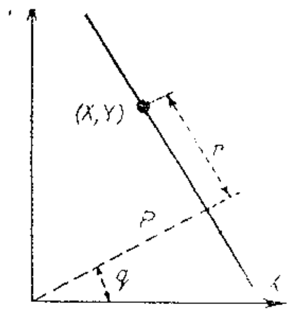

Рис. 1. Сенс параметрів p,q,r : p – відстань від прямої до центра координат; q - ухил наклону прямої; r – відстань від точки до центру прямої (точки прямої, найближчої до початку координат)

Задамо тривимірний збиральний простір Хоуга $H(P,Q,R)$, кожна комірка якого має координати *p, q,r.* Якби простір не був дискретним, то кожній комірці відповідала б одна точка вихідного зображення, координати якого можна вивести з (4) і (5):

$$x = p\cos(q)+r\sin(q), \quad (6)$$

$$y = p\sin(q)-r\cos(q). \quad (7)$$

Нехай простір має певний крок квантування dP, dR, dR по кожної з осей P,Q,R. Тоді кожній комірці буде відповідати не точка на зображенні, а сегмент прямої лінії із шириною dP, довжиною dR і невизначеністю напрямку dQ. Поняття "відповідати" у даному випадку позначає той факт, що всі точки, що лежать усередині описаного сегмента, будуть голосувати, відповідно до виразу (3), за загальну комірку збирального простору. Зміст параметрів dP і dR показаний на рис. 2.

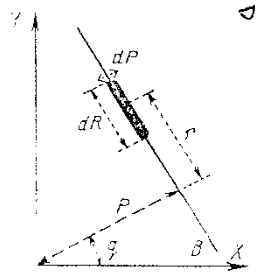

Рис.2. Сенс параметрів dP, dR, dP – ширина прямолінійного сегменту, dR – довжина прямолінійного сегменту.

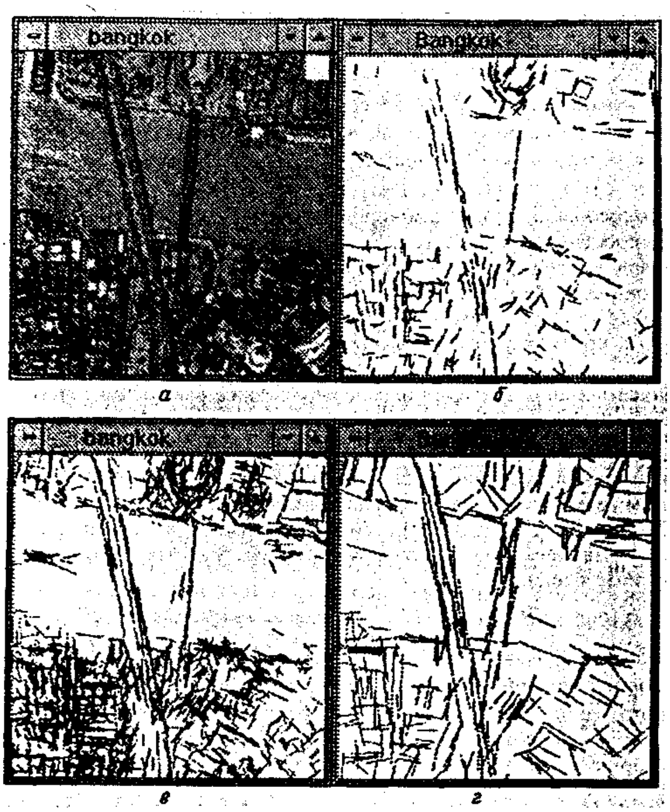

Рис. 3. Результат виділення сегментів на зображенні шліфа модефікованого чавуна: *а* – вихідне зображення; сегментація з порогом T_U =0,4; *в* - сегментація з порогом T_U =0.1; *г* – сегментація з порогом T_U =0,05 і вимогою суміжності. Значення кроків квантування у всіх трьох прикладах сегментації дорівнюють: dP=2, dQ=0,5 , dR=20.

Але у нас мета методу є не апроксимація вже наявних контурів геометричними фігурами, а пошук цих контурів, тому вводиться процедура голосування безпосередньо на напівтоновому зображенні, для чого в кожній точці зображення визначаються величина і напрямок градієнта яскравості (при практичній реалізації для цього використовувався оператор Собеля [5]). Напрямок градієнта перпендикулярний до контуру, що проходить через дану точку [б]. Тому нахил сегмента, що співпадає з даною ділянкою контуру, можна обчислити як

$$q = Arc(x, y) + p/2 \ , \qquad (8)$$

де $Arc(x, y)$ – напрямок градієнта яскравості в точці з координатами (x, y). Параметри сегмента, що залишилися, можна розрахувати скориставшись рівняннями (4) і (5):

$$p = x\cos(q) + y\sin(q) \ , \qquad (9)$$

$$r = x\sin(q) - y\cos(q) \ . \qquad (10)$$

Чим більша зміна яскравості в даній точці, тим більше основ вважати її приналежній контуру. Тому вираз (3) приймає вигляд:

$$H(p,q,r) = H'(p,q,r) + V(x,y) \forall (p,q,r) \colon f(x,y,p,q,r) = 0 \ , \qquad (11)$$

де $H(p,q,r)$ – нове значення комірки в збиральному просторі; $H'(p,q,r)$ – старе значення комірки в збиральному просторі; $V(x,y)$ – величина зміни яскравості в точці (x,y); $f(x,y,p,q,r)$ – комбінація виразів (8), (9) і (10).

Необхідно відзначити, що всі одержувані параметри (p,q,r) сегмента перед процедурою голосування необхідно проквантувати у відповідністю з дискретністю збирального простору [5].

Після проведення процедури голосування для всіх точок зображення координати комірок у збиральному просторі з максимальними значеннями будуть відповідати найбільш контрастним прямолінійним сегментам контурів зображення. Таким чином, критерієм відбору виступає значення комірки збирального простору.:

Вибір максимальних значень неминуче пов'язаний із введенням поняття порога T_U, якщо значення комірки $H(p,q,r)$ більше даного порога, то сегмент контуру з параметрами (p,q,r) є присутнім на аналізованій сцені. Якщо значення порогу буде занадто малим, буде виявлено багато помилкових сегментів. Якщо ж значення порогу буде занадто велике, сегменти, що були на зображенні, будуть пропущені. На рис. 3 показаний результат виділення сегментів на зображенні шліфа модефікованого чавуна. Попередньо значення комірок у збиральному просторі були пронормовані за максимальним значенням:

$$H(p,q,r) = H'(p,q,r)/H_{\max}, \tag{12}$$

де H_{max} – максимальне значення для всіх комірок збирального простору.

Далі значення кожної комірки порівнювалося з порогом T_U. На рис. 3, *б* значення даного порогу дорівнює 0,4. Як ми бачимо, більша частина контурів виявилася пропущеною. При зменшенні порогу до 0,1 з'явилося багато помилкових контурів, разом з тим деякі контури все рівно були пропущені. Результат показаний на рис. 3,*в*.

Для підвищення вірогідності виділення контурів пропонується ввести новий критерій добору сегментів. Даний підхід заснований на існуванні класу об'єктів, що мають прямолінійні границі. Тоді сегменти, що представляють контур такого об'єкта, повинні лежати на одній прямій і стикатися (див. рис. 4) – будемо називати їх суміжними. Сегмент (p_1, q_1, r_1) суміжний із сегментом (p_2, q_2, r_2), якщо виконується наступна умова:

$$\begin{cases} p_1 - p_2 = 0, \\ q_1 - q_2 = 0, \\ -dR \le r_1 - r_2 \le dR \end{cases}, \tag{13}$$

де (p_1,q_1,r_1) – параметри першого, (p_2,q_2,r_2)– параметри другого сегмента; ***dR*** – крок квантування параметра ***R*** збирального простору.

Новий критерій полягає в завданні вимоги наявності суміжних сегментів. Іншими словами, сегмент (p,q,r) вважається присутнім на зображенні тільки в тому випадку, якщо для нього є хоча б один суміжний сегмент.

Таким чином, процедура відбору комірок збирального простору повинна здійснюватися в два етапи. По-перше, відкидаються всі комірки, значення яких менше порогу T_U (цей етап можна назвати бінаризацією). По-друге, з комірок, що залишилися, вибираються тільки ті, що мають суміжні відповідні сегменти.

Результат такої обробки представлений на рис.3,*г*. При досить низькому значенні порога T_U= 0,05 застосування вимоги суміжності дозволило відкинути більшу частину помилкових сегментів. Експеримент проводився з використанням значень кроків квантування, рівних ***dP*** = 2, ***dQ*** = 5, ***dR*** = 20. В якості $V(x, y)$ – величини зміни яскравості – використовувався оператор Собеля.

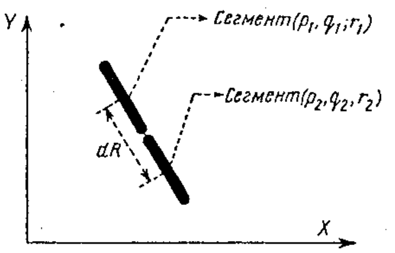

Рис.4. Два суміжних сегменти (p_1,q_1,r_1) і (p_2,q_2,r_2).

Висновок. Запропонований метод виділення прямолінійних елементів контуру робить підсумовування перепадів яскравості вздовж контуру об'єкта. Це приводить до стійкого виділення навіть малоконтрастних елементів контуру, що дають максимуми у збиральному просторі. Результатом застосування методу є спрямовані сегменти, що характеризуються параметрами (p_1, q_1, r_1), а також довжиною ***dP*** і шириною ***dR***. Ці характеристики дозволили ввести новий критерій – критерій суміжності для відбору сегментів із збирального простору. Даний критерій робить метод стійким до шуму, тому що випадкові зміни яскравості на зображенні дають сегменти, спрямовані довільним чином і не відповідають вимозі суміжності, у той час як границі поверхонь багатьох об'єктів є прямолінійними хоча б на деяких ділянках.

В роботі [7] подібні ознаки зображення відносяться до локального і підкреслюється їх застосованість для просторової прив'язки до об'єктів.

Метод використовувався при формуванні *R*-таблиць в узагальненому перетворенні Хоуга [8, 9] для пошуку об'єктів на зображеннях земної поверхні з космосу і показав хорошу стійкість при різних метеорологічних умовах, шумах, параметрах зйомки та освітленості. Результати даної роботи описані в [10].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Марр Д.* Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. М.: Радио и связь. 1987. 400 с.
2. *Хьюбел Д.*Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.
3. *Hough P.V.C.* A method and means for recognizing complex patterns: U.S.Patent № 3069654. 1962.
4. *Duda* R.O., Hart P.E. Use of Hough transformation to delect lines and curves in pictures // Comm. ACM 15. 1972. P.11-15.
5. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений. М.:Мир, 1982. Т. I. 312 с.; Т.II. 480 с.
6. *Фу К., Гонсалес Р., Пи К.*Робототехника. М.: Мир, 1989. 624 с
7. *Колеватых А.В. Павлов Б.А.* Обзор современных методов автоматизированного анализа изображений // АиТ. 1995. № 9. С. 3-21.
8. *Deans S.R.* Hough transform from the radon transform // 1EEE Traпs. Patterп Ana1. Mach. Intell. 1981. №3. P. 185-188.
9. *Ballard D.H.*Generalizing the Hough transform to detectsrbitrary shapes // Patteгn Recognition. 1981. V. 13. №2. P. 111-122.
10. *Барвиненко С.В.* Метод поиска объектов на полутоновом изображении // Матер. XXV военно-науч. конф. ВКА ПВО им. Жукова Г.К. 1996. С. 471-483.