УДК 623.618.2

Ю. С. Соломоненко, Г. В. Худов, Р. В. Дзюбчук

ПЕРЕТВОРЕННЯ ХОХА ЯК МЕТОД ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ НА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Наведена стисла характеристика відомих методів виділення контурів об'єктів при обробці оптико-електронних зображень. Запропоновано використання перетворення Хоха для виділення контурів об'єктів при обробці зображень.

Постановка проблеми. У теперішній час при обробці оптико-електронних зображень важливим є завдання виділення прямих ліній або контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях [1–3]. Контури в цілому визначають форму зображення, необхідну інформацію для подальшої класифікації об'єкта та слабо залежать від кольору і яскравості. Особливо це актуально в умовах сьогодення, коли перед керівництвом держави постало завдання документального підтвердження факту присутності російської військової техніки на кордоні з Україною та в зоні проведення антитерористичної операції. Обробка оптико-електронних зображень, отриманих з космічних апаратів оптико-електронного спостереження, дозволила провести аналіз місця падіння малайзійського літака та навести докази присутності російських військ у східних областях України [4–6]. Проте до цього часу відсутня єдина методологія виділення контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На даний час найбільш поширеними методами виділення контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях є диференціювання яскравості за допомогою операторів Робертса, Собела, Превітта та Лапласа [1–3, 7]. Відомі методи виділення контурів об'єктів мають низку недоліків, основними з яких є:

поява розривів у контурах об'єктів, які мають низьку контрастність;

виникнення хибних контурів через вплив шуму на зображенні;

контурні лінії можуть бути достатньо широкими через наявність шумів або розмиття зображень.

Зазначені недоліки зумовлюють потребу в пошуку нових підходів до завдання виділення контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях.

Мета статті – проаналізувати класичні методи виділення контурів об'єктів на оптико-електронних зображеннях та розглянути можливість використання перетворення Хоха для розв'язання зазначеної задачі.

Виклад основного матеріалу. Одним з найбільш простих способів виявлення границь є диференціювання яскравості, яке розглядається як функція просторових координат [1, 3, 7, 8]. Виявлення контурів для зображення зі значеннями яскравості $f\left(x_1, x_2\right)$ забезпечує знаходження часткових похідних за координатами x_1 та x_2 – $\frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_1}$ та $\frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_2}$. Модуль градієнта розраховується за формулою

© Ю. С. Соломоненко, Г. В. Худов, Р. В. Дзюбчук, 2014

$$\left|\nabla f\left(x_1, x_2\right)\right| = \sqrt{\left(\frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_2}\right)^2}. \quad (1)$$

Одним з варіантів для розрахунку дискретного градієнта є оператор Робертса [7], за допомогою якого визначають діагональні різниці

$$g\left(x_1, x_2\right) = \sqrt{\left(s_1\left(x_1, x_2\right)\right)^2 + \left(s_2\left(x_1, x_2\right)\right)^2}, \quad (2)$$

де $s_1\left(x_1, x_2\right) = f\left(x_1, x_2\right) - f\left(x_1 - 1, x_2 - 1\right)$;

$s_2\left(x_1, x_2\right) = f\left(x_1, x_2 - 1\right) - f\left(x_1 - 1, x_2\right)$.

Визначення різниці формується двома фільтрами з кінцевими імпульсними характеристиками (КІХ), які відповідають маскам (2 х 2):

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Серед недоліків оператора Робертса відзначають високу чутливість до шумів та орієнтації меж областей, можливість появи розривів у контурі та відсутність чітко вираженого центрового елемента, серед переваг – низьку обчислювальну складність [7].

Для розрахунку дискретних градієнтів використовують оператори Собела і Превітта [1, 3, 7, 8]. В оператора Собела вплив шумів кутових елементів менший, ніж в оператора Превітта, що важливо при роботі з похідними [7]. КІХ фільтрів становлять собою маски (3 х 3). Маски оператора Собела [7]:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Маски оператора Превітта [7]:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

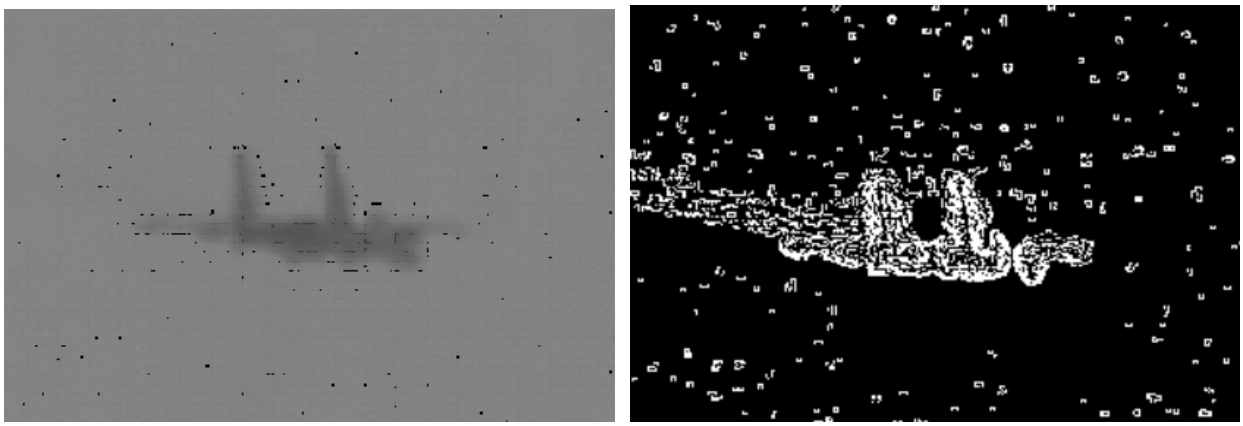
В операторі Собела використовують ваговий коефіцієнт 2 для середніх елементів. Таке збільшене значення застосовують для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам [7]. Інваріантність до повороту забезпечують використанням діагональних масок, які призначені для виявлення розривів у діагональних напрямках [7]. Діагональні маски оператора Собела [7]:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \text{ та } \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}.$$

Діагональні маски оператора Превітта [7]:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{та} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Приклад використання оператора Собела для виділення границь наведено на рис. 1 [7].



а) *б)*

Рис. 1. Виділення границь оператором Собела: а) вихідне зображення; б) результат

Недоліками використання операторів Собела та Превітта є висока чутливість до шумів та орієнтації границь областей, а також можливість появи розривів у контурі [7].

Для розв'язання задачі виділення перепадів яскравості використовуються диференційні оператори більш високого порядку, наприклад, оператор Лапласа [1, 3, 7, 8]:

$$\Delta^2 f\left(x_1, x_2\right) = \frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_1^2} + \frac{\partial f\left(x_1, x_2\right)}{\partial x_2^2}. \tag{3}$$

КІХ фільтра для оператора Лапласа [7]:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Основним недоліком лапласіана є досить висока чутливість до шумів. Крім того, можливі появи розривів у контурі, а також їх подвоєння. До переваг відносять нечутливість до орієнтації границь областей та низьку обчислювальну складність [7].

Розглянемо можливість виділення прямих ліній та контурів об'єктів на зображеннях з використанням відомого перетворення Хоха [9–12]. Нехай на площині прямокутних координат $\left(x_1, x_2\right)$ задано деяке сімейство кривих Γ_p, яке залежить від параметра p, що змінюється в деякій області P простору $R^d = \left\{ p = \left(p_1, \ldots, p_d\right) / \; p_i \in R, i = 1, \ldots, d \right\}$. Нехай кожна крива описується неявним рівнянням $F\left(x_1, x_2; p_1, \ldots, p_d\right) = 0, \; p \in P$. Перетворення

Хоха визначає кожній точці з координатами (x_1, x_2) параметри, що відповідають кривим Γ_p, які проходять через точку з координатами (x_1, x_2) z. Таким чином, у просторі параметрів отримано сімейство множин $P_z = \{p \in P / F(x_1, x_2, p) = 0\}$. Ототожнюючи точки p області P з відповідними їм кривими Γ_p, можна казати, що кожній точці з координатами (x_1, x_2) відповідає множина кривих Γ_p, які проходять через неї [12].

Для прикладу розглянемо задачу виділення контурів об'єктів прямокутної форми на зображенні з використанням перетворення Хоха. При цьому будемо застосовувати результати роботи [12]. У такий спосіб можна вирішувати завдання виділення контурів таких об'єктів прямокутної форми:

об'єктів, що мають кут нахилу, периметр або площину в заданих діапазонах;

об'єктів із заданими мінімальними та максимальними довжинами сторін;

об'єктів, відношення сторін яких знаходиться в заданих інтервалах;

об'єктів, розташованих у заданій області зображення;

об'єктів, на сторонах яких лежить не менше заданої кількості частин контурів;

об'єктів, близьких до деяких контурів, кількість яких не менша заданої;

об'єктів, на яких лежить не менше заданої кількості вершин контурів;

об'єктів, у яких не менше заданої кількості їх вершин збігаються з вершинами контурів.

Визначимо опис простору параметрів. Кожній прямій L поставимо у відповідність величину S, що дорівнює відстані від початку координат O до цієї прямої. Цю величину назвемо *S*-параметром прямої.

S-параметр відрізка J будемо називати *S*-параметром прямої, що проходить через цей відрізок. *T*-параметром відрізка J будемо називати величини T_1 та T_2, що дорівнюють *S*-параметрам прямих, які проходять через кінці цього відрізка перпендикулярно до нього (рис. 2).

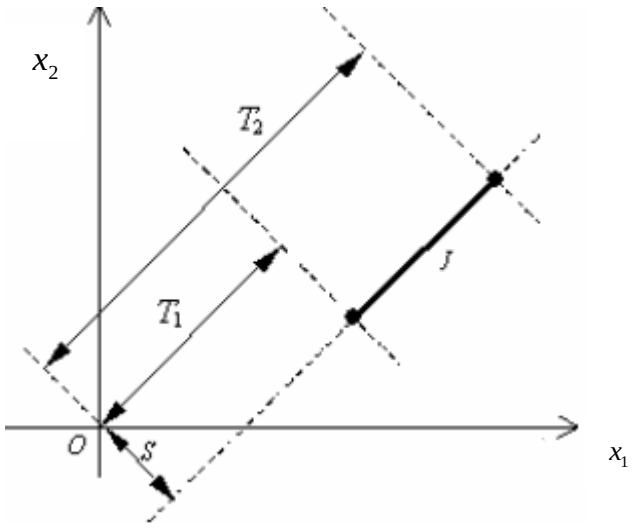


Рис. 2. S-параметр та T -параметр відрізка J

Об'єкт прямокутної форми будемо задавати набором з п'яти параметрів (рис. 3) $p = (\varphi, S_1, S_2, T_1, T_2)$,

де φ – кут нахилу двох з чотирьох сторін об'єкта прямокутної форми, $0 \le \varphi \le 90^\circ$;

S_1, S_2 – *S*-параметри сторін об'єкта прямокутної форми з кутом нахилу φ, $S_1 \le S_2$;

T_1, T_2 – *T*-параметри сторін об'єкта прямокутної форми з кутом нахилу φ (вони дорівнюють *S*-параметрам сторін об'єкта прямокутної форми з кутом нахилу $(\varphi + 90^\circ)$, $T_1 \le T_2$.

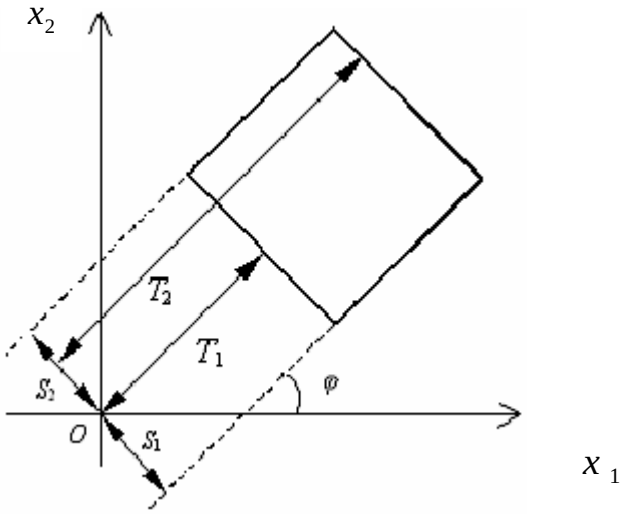


Рис. 3. Набір параметрів об'єкта прямокутної форми

Найпростіший варіант перетворення Хоха для відрізків контурів має такий вигляд. Нехай J – відрізок контуру з кутом нахилу $0 \le \alpha < 180^\circ$, *S*-параметром (*S*) та *T*-параметрами (T_1^J та T_2^J). Перетворенням Хоха будемо називати перетворення, що визначає цьому відрізку дві множини прямокутників P_J^i, $i = 1, 2$. Якщо прямокутник містить відрізок J, то

при $0 \le \alpha < 90^\circ$ визначені параметри φ та S_1 або φ та S_2 цього прямокутника й задані границі для параметрів S_2, T_1 та T_2 або S_1, T_1 та T_2 (рис. 4);

при $90^\circ \le \alpha < 180^\circ$ визначені параметри φ та T_1 або φ та T_2 цього прямокутника та задані границі для параметрів S_1, S_2 та T_2 або S_1, S_2 та T_1 (рис. 4).

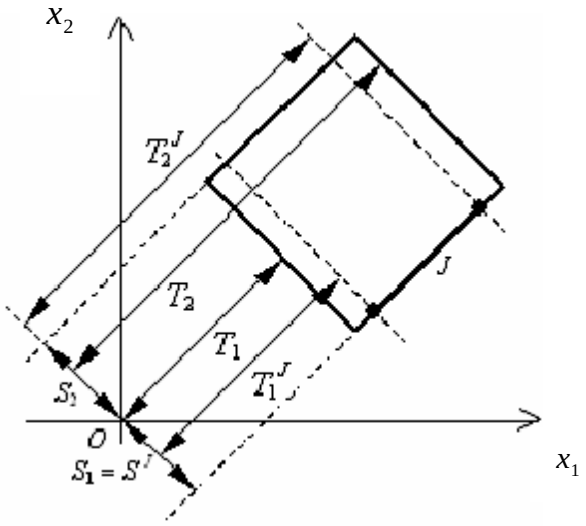


Рис. 4. Перетворення Хоха

Таким чином, при $0 \le \alpha < 90^\circ$ отримуємо

$$P_J^1 = \left\{ p = (\varphi, S_1, S_2, T_1, T_2) / \varphi = \alpha, S_1 = S^J, S_2 \ge S^J, T_1 \le T_2^J, T_2 \ge T_1^J \right\}; \quad (4)$$

$$P_J^2 = \left\{ p = (\varphi, S_1, S_2, T_1, T_2) / \varphi = \alpha, S_1 \le S^J, S_2 = S^J, T_1 \le T_2^J, T_2 \ge T_1^J \right\}; \quad (5)$$

при $90^\circ \le \alpha < 180^\circ$ –

$$P_J^1 = \left\{ p = (\varphi, S_1, S_2, T_1, T_2) / \varphi = (\alpha - 90^\circ), S_1 \le T_2^J, S_2 \ge T_1^J, T_1 = S^J, T_2 \ge S^J \right\}; \quad (6)$$

$$P_J^2 = \left\{ p = (\varphi, S_1, S_2, T_1, T_2) / \varphi = (\alpha - 90^\circ), S_1 \le T_2^J, S_2 \ge T_1^J, T_1 \le S^J, T_2 = S^J \right\}. \quad (7)$$

Вирази (4)–(7) визначають перетворення Хоха при виділенні контурів об’єктів прямокутної форми з обраним варіантом параметризації вказаного об’єкта.

Висновки. Таким чином, у статті розглянуто відомі методи виділення контурів об’єктів при обробці оптико-електронних зображень, визначено їх переваги та недоліки. Запропоновано використати перетворення Хоха при виділенні контурів об’єктів прямокутної форми за допомогою виразів (4)–(7), які в перспективі дозволять усунути основні недоліки класичних методів. Напрямками подальших досліджень є застосування перетворення Хоха до обробки реальних зображень та оцінка ефективності його використання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новейшие методы обработки изображений / [А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов и др.] ; под ред. А. А. Потапова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. – [2-е изд., испр.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Захаров М. Бойцы гибридного фронта / М. Захаров // Мир и политика. – 2014. – № 6. – С. 42–47.
5. СБУ: Россия фальсифицирует спутниковые снимки с места падения Boeing [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://inforesist.org/sbu-rossiya-falsificiruet-sputnikovye-snimki-s-mesta-padeniya-boeing.
6. Обнародованы спутниковые снимки войск РФ в зоне АТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mv.org.ua/news/80855-obnarodovany_sputnikovye_snimki_voisk_rf_v_zone__ato.html.
7. Титов И. О. Выделение контуров изображения движущегося объекта / И. О. Титов, Г. М. Емельянов // Вестник Новгородского государственного университета. – 2010. – № 55. – С. 27–31.
8. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М. : Техносфера, 2007. – 456 с.
9. US Patent. № 3069654. Method and means for recognizing complex patterns [Electronic resource] / P. V. Hough. – Mode of access : http://www.google.com/patents/US3069654.

10. Duda R. O. Use of Hough transformation to detect lines and curves in pictures / R. O. Duda, P. E. Hart // Commun. ACM. – 1972. – V. 15, № 1. – P. 11–15.
11. Aguado A. Invariant characterization of the Hough transform for pose estimation of arbitrary shapes / A. Aguado, E. Montiel, M. Nixon [Electronic resource] // Electronic proceeding of the eleventh british machine vision conference University of Bristol, 11–14 September 2000. – Mode of access : http://www.researchgate.net/publication/221259535_Invariant_Characterization_of_the_Hough_Transform_for_Pose_Estimation_of_Arbitrary_Shapes.
12. Губанов А. В. О поиске прямоугольников на векторной модели изображения с помощью преобразования Хоха [Электронный ресурс] / А. В. Губанов, О. Е. Галкин, Н. В. Ильинов // Graphicon-2001 (Nizhny Novgorod, September 10 – 15, 2001). – Режим доступа : http://www.graphicon.ru/2001/Computational_Geometry/Gubanov_Galkin_Ilyinov.pdf.

Подано 22.09.2014

Ю. С. Соломоненко, Г. В. Худов, Р. В. Дзюбчук

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХОХА КАК МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ НА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Приведена краткая характеристика известных методов выделения контуров объектов при обработке оптико-электронных изображений. Предложено использование преобразования Хоха для выделения контуров объектов при обработке изображений.

J. S. Solomonenko, G. V. Hudov, R. V. Dzjubchuk

HOUGH'S TRANSFORMATION AS METHOD OF ALLOCATION OF CONTOURS OF CONTOURS OF OBJECTS ON OPTIKO-ELECTRONIC IMAGES

The short characteristic of known methods of allocation of contours of objects is resulted at processing of optiko-electronic images. Use of Hough's transformation for allocation of contours of objects at processing of images is offered.