

УДК 004.932

В.Г. Худов<sup>1</sup>, О.М. Маковейчук<sup>2</sup>, І.А. Хижняк<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Львів<sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕВОЛЮЦІЙНОГО МЕТОДУ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ, ЩО ОТРИМАНО З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Проведено сегментування еволюційним методом зображення, що отримане з бортових систем оптико-електронного спостереження. Для оцінки ефективності еволюційного методу сегментування у якості порівняльного методу обраний метод виділення контурів Канні. Проаналізовані відомі показники оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень. У якості показника оцінки сегментування еволюційним методом і методом Канні обрано інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера. Наведена залежність інформаційного розходження (виграшу) Кульбака-Лейбнера від зміни масштабу зображення для двох методів сегментування. Встановлено, що сегментування еволюційним методом дає виграш у значенні інформаційного показника на 7-16%.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, еволюційний метод, оцінка якості, система спостереження, інформаційний показник, відстань Кульбака-Лейбнера, масштаб зображення.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

У теперішній час велика кількість публікацій, що присвячені сегментуванню оптико-електронних зображень, присвячена розробці, модернізації та застосуванню багатьох методів сегментування зображення [1 – 8]). Таким чином, перед розробниками систем обробки зображень стає непроста проблема вибору найбільш адекватних їх задачам методів з множини тих, що запропоновані у відомій літературі. Це, в свою чергу, зумовлює розробку методик та методів оцінки якості сегментування зображень.

**Мета статті** – оцінити якість сегментування еволюційним методом зображення, що отримано з борта системи спостереження, з використанням інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На теперішній час основні критерії і показники розроблені для двох основних підходів до сегментування зображення [1, 2, 4, 5]:

1) розділення зображення контурами на області зі схожими характеристиками (в англійській термінології – edge-based methods (boundary-based, contour-based);

2) об'єднання пікселів зображення в групи на основі близькості деяких кількісних ознак (region-based methods).

Для оцінки результатів роботи методів першої групи використовуються, в основному критерії і показники такі ж самі, що і для детекторів границь (такі показники наведені в [5-7, 9]). Критерії оцінки якості методів сегментування зображення, що відносяться до другої групи наведені в [9].

Основні відмінності методів оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень наступні [1, 5, 8, 9]:

- різні набори тестових зображень, які відрізняються як по типу зображення (реальні або синтезовані), так і по розміру, кількості, джерелам (оригінальні зображення або зображення з доступних баз даних) і т.і.;

- різні процедури вибору оптимальних параметрів методів обробки;

- різні критерії оцінки якості сегментування (кількісні або якісні; ті, що використовують еталонні сегментовані зображення або ні).

Відомі показники якості сегментування зображення класифікуються наступним чином [5, 6-9].

1. Перша група – це показники, які засновані на порівнянні з еталонним сегментуванням, наприклад:

- кількість пікселів, що віднесені при сегментуванні не до свого сегменту;

- показники, що характеризують неправильне місце розташування класифікованих пікселів;

- показники, що характеризують ступінь фрагментації зображення;

- показники, що характеризують значення характеристик вихідного зображення, що використовуються для сегментування.

2. Друга група – показники, які не потребують наявності еталонного сегментування, наприклад:

- показник, що враховує однорідність сегментів, який заснований на обчисленні дисперсії величини відповідної ознаки зображення, що використовується для сегментування;

- показник, що враховує контраст між сегментами;

- комплексний показник, який, наприклад, враховує як однорідність сегментів, так і їх кількість.

Однак, наведені вище показники оцінки якості сегментування зображення мають такі недоліки [5]:

- іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;

- не враховується розташування помилкових пікселів відносно відповідного сегменту – тому помилка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;

- не враховується різниця у важності окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;

- відсутня інформація по клас пікселів, що вносить найбільшу помилку.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Еволюційний метод сегментування роботи зображення, що отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження представлений в роботах [10, 11]. Сегментування зображення еволюційним методом можна представити як сукупність наступних ділянок руху агентів: вихідна точка маршруту (ВТМ), прямі ділянки, кінцева точка маршруту (КТМ). Прямі ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна напрямку руху агенту [10, 11]. В кожній ітерації ітераційного процесу  $m$  агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на знайденому маршруті. Кожний  $m$ -й агент при сегментуванні зображення починає шлях з ВТМ, послідовно проходить вибрані методом ПТМ і завершує шлях в одній з КТМ. Вибір ПТМ з  $J$  можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає

ймовірність  $P_i^m(t)$  переходу  $m$ -го агента в  $i$ -у ПТМ з врахуванням привабливості  $i$ -ї ділянки маршруту  $L_i$  та концентрації феромонів на цій ділянці  $F_i$  в момент часу  $t$  наступним чином:

$$P_i^m(t) = F_i(t)^\alpha \cdot L_i^\beta / \sum_{j=1}^J (F_j(t)^\alpha \cdot L_j^\beta), \quad (1)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри, що задають вагу феромона і привабливості ділянки, відповідно.

Вважаємо, що привабливість ділянки маршруту  $L_i$  в еволюційному методі обернено пропорційна затратам на подолання ділянки, тобто:

$$L_i = 1/D_i, \quad (2)$$

де  $D_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки маршруту.

На початку ітераційного процесу кількість феромону на ділянках маршруту приймається однаковою і рівною деякому невеликому числу  $F_0$ . Після кожної ітерації концентрація феромонів на вибраних агентами ділянках оновлюється за правилом:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (3)$$

де  $\rho \in [0,1]$  – швидкість випаровування феромону;

$\Delta F_i^m$  – концентрація феромону на  $i$ -й ділянці маршруту, що створюється проходженням  $m$ -го агента.

В результаті проведення певної кількості ітерацій визначаються найпривабливіші за вибраним критерієм маршрути, концентрація феромону на яких максимальна. Феромон на непривабливих маршрутах поступово «висихає» і непривабливі маршрути зникають. У якості вихідного обрано вихідне зображення (рис. 1, а) [12]. Результат сегментування еволюційним методом вихідного зображення (рис. 1) наведений на рис. 1, б [10, 11].

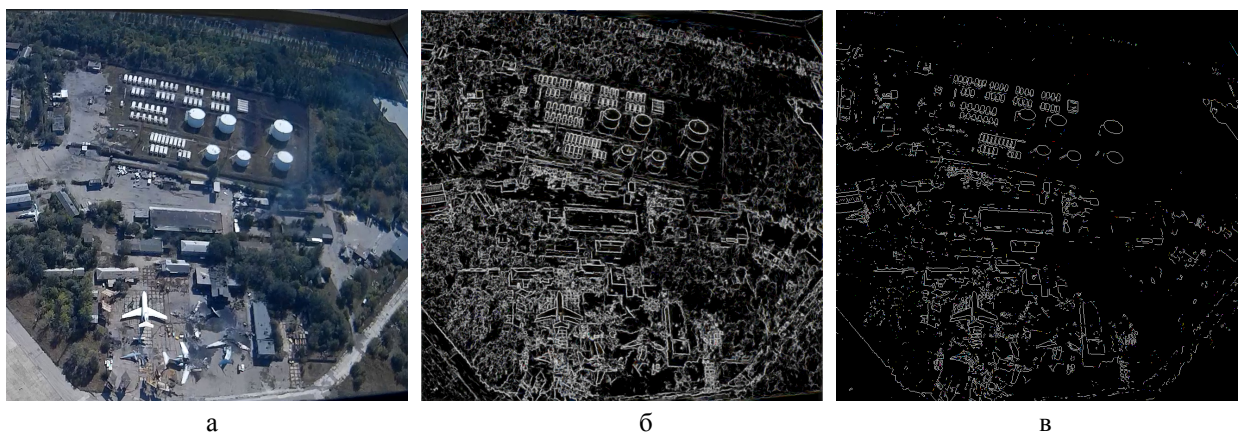


Рис. 1. Вихідне зображення [12] (а) та результати його сегментування еволюційним методом [10, 11] (б) та методом Канні (в)

Для порівняння якості сегментування оптико-електронного зображення (рис. 1, а) еволюційним методом проведемо сегментування цього зображення (рис. 1, а) методом виділення контурів Канні [13]. Метод виділення контурів Канні є оптимальним по

таким параметрам [13]: критерії виділення контурів – метод повинен виділяти як можна більше існуючих на зображенні границь; локалізації країв – контури, що виділені, повинні розташовуватися як можна ближче до границі на зображенні; мінімізація

кількості відкликів одного краю – кожен контур повинен відмічатися один раз і, якщо можливо, контури не повинні створюватися з причини шумів.

В роботах Канні, наприклад [13], введено поняття Non-Maximum Suppression, яке означає, що пікселями границь є точки, в яких досягається максимум градієнта у напрямку вектору градієнта. Етапи методу Канні наводяться нижче.

1. Згладжування. Проводиться з метою зменшення впливу шумів на визначення границь, для чого використовується фільтр Гауса:

$$f(x, y) = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{(2\sigma^2)}\right) / (2\pi\sigma), \quad (4)$$

де  $(x, y)$  - координати пікселя;  $f(x, y)$  - яскравість зображення;  $\sigma$  - параметр розмиття.

Значення параметра розмиття необхідно обрати таким, що забезпечує найбільше придушення шуму. Більше значення параметра використовується для виділення крупних границь, менше – для виділення маленьких деталей.

2. Пошук градієнту. Для визначення градієнту на зображенні після фільтру Гауса (4) будемо використовувати оператор Собеля [14], схема просторової фільтрації з використанням якого наведена на рис. 2 [14]. Основою перетворення Собеля є припущення, що функція розриву яскравості на гранях естановиться значно більше. З цього припущення можна зробити висновок, що для знаходження граней достатньо здійснити диференціювання функції яскравості  $f(x, y)$ :

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \Delta x = \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \Delta y = \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}. \quad (6)$$

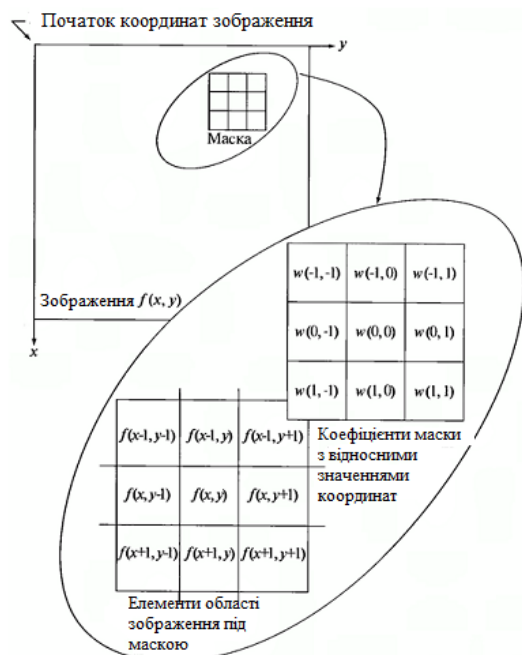


Рис. 2. Схема просторової фільтрації з використанням оператора Собеля [14]

В дискретних зображеннях  $dx$  та  $dy$  можна вимірювати в кількості пікселів між двома точками з використанням виразів:

$$\Delta x = f(i + 1, j) - f(i, j), \quad (7)$$

$$\Delta y = f(i, j + 1) - f(i, j). \quad (8)$$

Вираз для визначення величини градієнту  $G$  можна записати таким чином:

$$G = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \quad (9)$$

а напрямок  $\theta$  (вираз (10):

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right). \quad (10)$$

У виразах (9), (10) оцінка градієнту проводиться з використанням масок (2x2):

$$\Delta x = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$\Delta y = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Основний недолік використання масок (11), (12) – велика кількість помилок з причини наявності шуму [14]. Крім того, використання масок парного порядку не дає можливості проводити оцінку на основі пікселя, що розташований по центру маски. Тому в роботі використовується оператор Собеля з масками:

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

З аналізу виразів (13), (14) (у порівнянні з (11), (12)) видно використання коефіцієнту 2 для середніх елементів. Цей факт використаний з роботи [15], а збільшене значення коефіцієнту використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам. Значення та напрямок величини градієнту  $G$  приймають вигляд:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (15)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_x|}{|G_y|}\right). \quad (16)$$

Після використання оператора Собеля інтенсивність кожного пікселя вихідного зображення дорівнює градієнту вектора яскравості.

3. Придушення хибних максимумів. Мета цього етапу – перетворити «розмити» границі в «чіткі». Це досягається збереженням локальних максимумів та видаленням всього іншого. Для кожного пікселя виконуються наступні дії:

- напрямку градієнту округлюється до найближчого значення, що кратне  $45^\circ$  (рис. 3, а) [13];

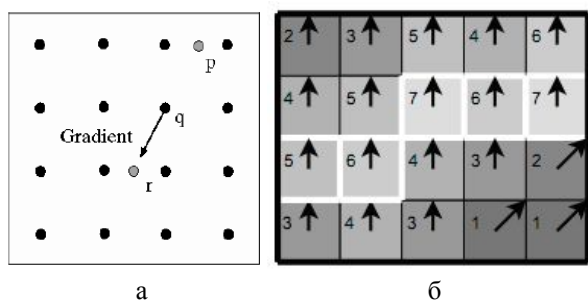


Рис. 3. Пошук локальних максимумів [13]:  
 а – максимуми р та г інтерполюються (видаляються);  
 б – принцип придушення хибних максимумів

- якщо у поточній точці досягається локальний максимум у напрямку градієнту, то вона є частиною границі;

- у протилежному випадку точка видаляється (рис. 3).

Принцип придушення проілюстрований на рис. 3, б. Всі пікселі на рис. 3, б мають «орієнтацію вгору», тому значення градієнту в цих точках буде порівняно з нижче та вище розташованими пікселями. Пікселі, що обведені білим кольором на рис. 3, б залишаться у вихідному зображенні, інші – будуть придушені.

4. Подвійна порогова фільтрація (рис. 4 [13]). Сутність – кожен піксель, що перевищує верхній поріг, відмічається як «сильний», кожен піксель, що попадає між двома порогоми, - «слабий» (яскравість таких пікселів приймає фіксоване середнє значення та буде уточнюватися на наступному етапі), пікселі, що менше нижнього порогу, видаляються.

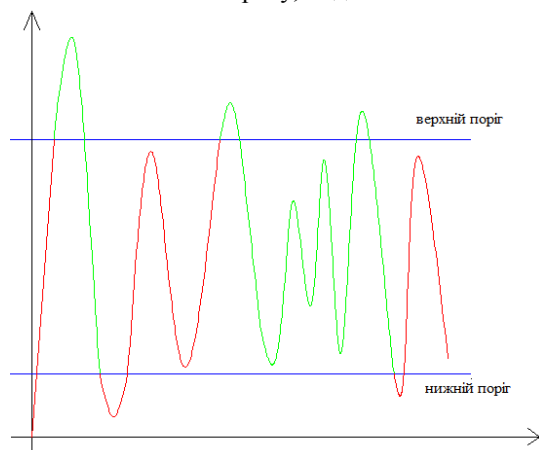


Рис. 4. Використання двох порогів в методі Канні [13]

Використання подвійного порогу дозволяє зменшити вплив шуму (за рахунок верхнього порогу) та не втратити «хвости» (за рахунок нижнього порогу).

5. Трасування області невизначеності. Задача зводиться до виділення груп пік селів, що отримали на попередньому етапі проміжне значення та віднесенню їх до границі (якщо вони з'єднані з однією з встановлених границь) або їх придушенню (в протилежному випадку).

Результат сегментування вихідного зображення (рис. 1, а) методом Канні наведений на рис. 1, в.

Показником якості сегментування вихідного зображення (рис. 1) еволюційним методом та методом Канні оберемо інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера  $K(p_{\xi}, p_{\eta})$  [16-19]:

$$K(p_{\xi}, p_{\eta}) = \int_{R^2} p_{\xi}(x) \log(p_{\xi}(x)/p_{\eta}(x)) dx, \quad (17)$$

де  $p_{\xi}, p_{\eta}$  – розподіли яскравості на вихідному (рис. 1, а) та сегментованих зображеннях (рис. 1, б, в);  $R^2$  - площа зображення.

На рис. 5 наведені криві залежності відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування  $\mu$  вихідного зображення (рис. 1) при сегментуванні зображення з використанням еволюційного методу (безперервна крива) з використанням методу Канні (пунктирна крива). Відстань Кульбака-Лейбнера розраховувалась за виразом (17) з використанням логарифму за основою 2, отже відстань Кульбака-Лейбнера вимірюється у бітах, а для зображення в градаціях (0...2555) максимальне значення відстані Кульбака-Лейбнера дорівнює 8.

$K(p_{\xi}, p_{\eta})$ , біт

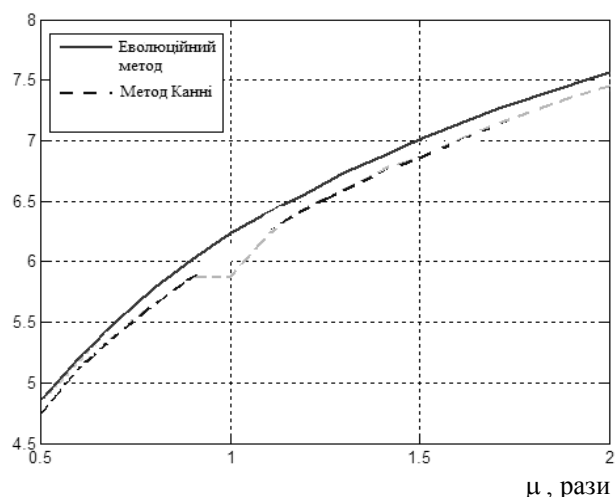


Рис. 5. Залежність відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування вихідного зображення (рис. 1) при сегментуванні зображення еволюційним методом (безперервна крива) та методом Канні (пунктирна крива)

З аналізу рис. 7 видно, що виграш у інформаційному показнику при сегментуванні вихідного зображення еволюційним методом складає від 7% до 16% при зміні масштабу вихідного зображення.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, проведено сегментування еволюційним методом зображення, що отримане з бортових систем оптико-електронного спостереження. Для оцінки ефективності еволюційного методу сегментування у якості порівняльного методу обраний метод виділення контурів Канні. У якості показника оцінки сегментування еволюційним методом і методом Канні

ні обрано інформаційний показника – відстань Кульбака-Лейбнера. Наведена залежність інформаційного розходження Кульбака-Лейбнера від зміни масштабу зображення для двох методів сегментування. Встановлено, що сегментування еволюційним методом дає вигоду у значенні інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера на 7-16%.

**Напрямок подальших досліджень** є порівняння еволюційного методу сегментування з іншими відомими методами та оцінка якості сегментування не тільки при зміні масштабу зображення, в при впливі інших спотворюючих факторів.

## Список літератури

1. Захаров А.В., Кольцов П.П. и др. Критерии оценки качества сегментации изображений. Труды НИИСИ РАН. 2012. Том 2. № 2. С. 87-99.
2. Смеляков К.С., Романенко И.А., Рубан И.В., Кириллова Н.И., Шитова О.В. Методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида, особенности их применения и перспективы развития. Сборник научных работ ХУПС. 2010. Вып. 2 (24). С. 92-97.
3. Режим доступа <http://ieeexplore.ieee.org>.
4. Zhang H. Fritts J.E., Goldman S.A. Image segmentation evaluation: A survey of unsupervised methods. *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. Vol. 110. Issue 2. PP.260-280.
5. Рубан И.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. Вып. 2 (42). С. 143-146.
6. J.Liu and Y.H.Yang Multiresolution color image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 16. № 7. 1994. PP. 689-700.
7. M.Borsotti, P.Campadelli and R.Schettini Quantitative evaluation of color image segmentation results. *Pattern Recognition Letters*. Vol. 19. № 8. 1998. PP. 741-747.
8. H.D.Cheng, X.H.Jiang, Y.Sun and J.Wang Color image segmentation: advanced and prospects. *Pattern Recognition*. Vol. 34. № 12. 2001. PP. 2259-2281.
9. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ. Труды НИИСИ РАН, 2012. Том 2. № 1. С. 4-13.
10. Худов В.Г. Мультиагентный метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. Системи озброєння та військова техніка. 2016. № 3 (47). С. 116-119.
11. Худов В.Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультиагентним методом. Системи управління, навігації та зв'язку. 2016. Вып. 1 (37). С. 107-110.
12. <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>.
13. Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. № 8. PP. 679-698.
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2005. – 1072 с.
15. Senthikumarani N., Rajesh R. Edge Detection Techniques for Image Segmentation – A Survey of Soft Computing Approaches. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. Vol. 1. № 2. May 2009. PP. 26-37.
16. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд. ин. лит., 1963. 829 с.
17. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация: 5-е изд. М.: КомКнига, 2007. 512 с.
18. Лидовский В.В. Теория информации. М.: Спутник+. 2004. 111 с.
19. Теребиж В.Ю. Восстановление изображений при минимальной априорной информации. *Успехи физических наук*. 1995. Т. 165. № 2. С. 143-176.

Надійшла до редколегії 19.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В.Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭВОЛЮЦИОННОГО МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО С БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В.Г. Худов, А.Н. Маковейчук, И.А. Хижняк

Проведена сегментация эволюционным методом изображения, полученного с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Для оценки эффективности эволюционного метода сегментации в качестве сравнительного метода выбран метод выделения контуров Канни. Проанализированы известные показатели оценки качества сегментации оптико-электронных изображений. В качестве показателя оценки сегментации эволюционным методом и методом Канни выбран информационный показатель – расстояние Кульбака-Лейбнера. Приведена зависимость информационного расхождения (выигрыша) Кульбака-Лейбнера от изменения масштаба изображения для двух методов сегментации. Установлено, что сегментация эволюционным методом обеспечивает выигрыш в значении информационного показателя на 7-16%.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, эволюционный метод, оценка качества, система наблюдения, информационный показатель, расстояние Кульбака-Лейбнера, масштаб изображения.

## EVALUATION OF THE QUALITY OF THE EVOLUTION METHOD OF SEGMENTATION OF THE OPTICAL-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEMS IMAGE

V.G. Khudov, A.N. Makoveychuk, I.A. Khizhnyak

It is established that the use of known methods of image segmentation obtained from on-board optical-electronic surveillance systems does not ensure the resistance of segmentation methods to variations in various image parameters. Theoretically, the possibility of using the roving method of optical-electronic image segmentation was substantiated, and the objective function was determined when solving the problem of clustering a multispectral image. Segmentation by the evolutionary method of the optical-electronic surveillance systems image. To evaluate the effectiveness of the evolutionary segmentation method, the method of isolating Canny contours is chosen as a comparative method. Analyzed are the known indicators for assessing the quality of segmentation of optical-electronic images. As an indicator of the segmentation estimation by the evolutionary method and the Canny method, the information indicator Kulbak-Leibner distance is chosen. The dependence of Kulbak-Leibner's information divergence (gain) on the change in image scale for two methods of segmentation is given. It is established that segmentation by the evolutionary method provides a gain in the value of the information indicator by 7-16%.

**Keywords:** optic-electronic image, segmentation, evolutionary method, quality assessment, surveillance system, information indicator, Kulbak-Leibner distance, image scale.