

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 ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗОБРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ВІДСТАНІ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБНЕРА

Проаналізовані відомі показники якості сегментування оптико-електронних зображень. Проведені оцінки комплексних показників якості сегментування оптико-електронного зображення, що отримане з борту літального апарату. Запропоновано для оцінки якості сегментування використовувати інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера. Проведені розрахунки відстані Кульбака-Лейбнера при використанні еволюційного методу сегментування оптико-електронного зображення та зміни масштабу вихідного зображення.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, відстань Кульбака-Лейбнера, комплексний показник, ознака.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Відомо [1–3], що системи видового космічного спостереження взагалі та оптико-електронного спостереження, зокрема, є однією із компонент космічної інформаційної підтримки, яка істотно підвищує бойові можливості збройних формувань.

Результат обробки зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості методу сегментування зображення, що, в свою чергу, поставляє перед розробниками систем обробки зображень проблему розробки методик, методів та вибору показників оцінки якості сегментування зображень.

**Мета статті** – провести сегментування оптико-електронного зображення еволюційним методом, при цьому оцінку якості сегментування провести шляхом визначення комплексних показників та відстані Кульбака-Лейбнера.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Відомо [4–6], що основні відмінності методів оцінки якості сегментування оптико-електронних зображень наступні:

– 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.ін.;

– різні процедури вибору оптимальних параметрів методів обробки;

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

На теперішній час основні критерії і показники розроблені для двох основних підходів до сегментування зображення [5; 6]:

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 [4]). Критерії оцінки якості методів сегментування зображення, що відносяться до другої групи, наведені в [5].

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

У якості методу сегментування оптико-електронного зображення будемо використовувати еволюційний метод, сутність якого викладена в роботах [7; 8].

В найпростішому випадку сегментування зображення представляється у вигляді сукупності наступних ділянок руху агентів (рис. 1): вихідна точка маршруту (ВТМ), прямі ділянки, кінцева точка маршруту (КТМ). Прямі ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна напрямку руху агента.

Рух по кожній з ділянок маршруту, а також здійснення повороту в вибраних ПТМ, має певні небезпеки та вимагає певних витрат ресурсів, що призводить до наявності переваги одного маршруту

руху перед іншим. Оскільки варіантів розташування ПТМ може бути дуже багато, кількість можливих маршрутів руху буде надзвичайно великою, що ускладнює вибір маршруту руху методом перебору.

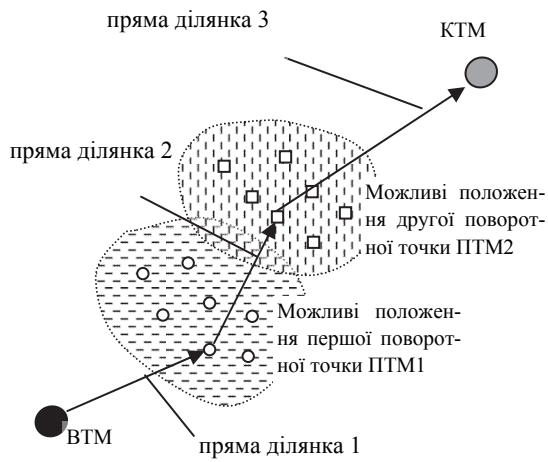


Рис. 1. Приклад представлення маршруту руху агента на зображенні при сегментуванні зображення [7; 8]

В простішому випадку 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 BTM, 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 [7, 8]:

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

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

Вважаємо, що привабливість ділянки маршруту  $L_i$  обернено пропорційна затратам на подолання ділянки, тобто

$$L_i = \frac{1}{D_i}, \quad (2)$$

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 (3) [7; 8]:

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

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 оберемо зображення, яке наведено на рис. 2 [9]. Результат сегментування вихідного зображення (рис. 2) еволюційним методом наведений на рис. 3 [7; 8].



Рис. 2. Вихідне зображення [9]

Відомо [5], що одним з недоліків методів сегментування є виділення великої кількості малих («смітєвих») областей на зображенні. Проведемо оцінки таких малих об'єктів на зображенні (рис. 3).

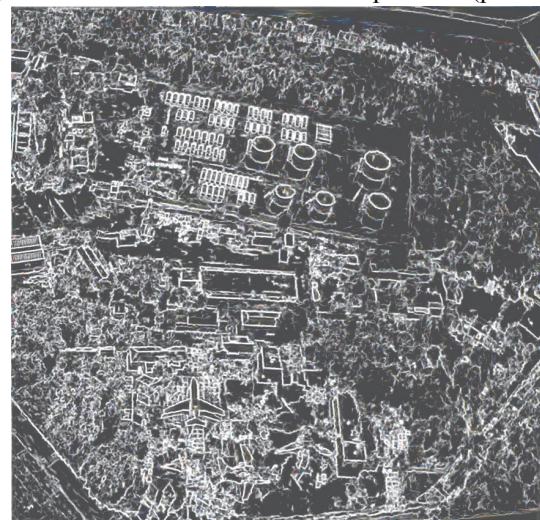


Рис. 3. Результат сегментування зображення (рис. 2)

Для цього будемо використовувати наступні комплексні критерії:

– критерій, що враховує однорідність сегментів та їх кількість [5; 10]:

$$F = \frac{1}{1000N} \sqrt{R} \sum_{i=1}^R \left( \frac{e_i^2}{\sqrt{A_i}} \right), \quad (4)$$

де  $N$  – кількість пікселів на зображенні;

$R$  – кількість сегментів;

$A_i$  – площа  $i$ -го сегмента;

$e_i$  – величина, що характеризує ступінь однорідності  $i$ -го сегмента;

– удосконалений критерій (4) [5; 11]:

$$F' = \frac{1}{1000N} \sqrt{\sum_{A=1}^{\max} [R(A)]^{1+\frac{1}{A}} \sum_{i=1}^R \left( \frac{e_i^2}{\sqrt{A_i}} \right)}, \quad (5)$$

де  $R(A)$  – кількість сегментів, що мають площину  $A$ ;

$\max$  – площа самої великої області на сегментованому зображенні.

Введення показника  $\left(1 + \frac{1}{A}\right)$  у виразі (5) дозволяє збільшити вклад у величину показника  $F'$  сегментів з малими площинами  $A$ . При невеликій кількості малих сегментів модернізований член у виразі (5) близький до  $\sqrt{R}$ , а критерії  $F$  та  $F'$  близькі по своїм значенням.

– критерій, що відповідає сприйняттю зображення людиною [5; 11; 12]:

$$Q = \frac{1}{1000N} \sqrt{R} \sum_{i=1}^R \left( \frac{e_i^2}{1 + \log A_i} + \left( \frac{R(A_i)}{A_i} \right)^2 \right). \quad (6)$$

У формулі (6) вираз під знаком суми складається з двох складових. Перша приймає більші значення для неоднорідних сегментів (звичайно тих, що мають значний розмір). Друга – може бути великою тільки у випадку малих сегментів.

За виразами (4–6) проведена оцінка комплексних показників оцінки якості сегментування зображення (рис. 3). Значення показників склали:  $F = 148,78$ ;  $F' = 217,87$ ;  $Q = 122,05$ .

Отримані значення комплексних показників якості сегментування не пов'язані з кількістю інформації, що відображена на сегментованому зображенні порівнянні з вихідним. Тому, введемо для оцінки якості сегментування інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера  $K(p_\xi, p_\eta)$  [13–15]:

$$K(p_\xi, p_\eta) = \int \frac{p_\xi(x)}{p_\eta(x)} \log \frac{p_\xi(x)}{p_\eta(x)} dx, \quad (7)$$

де  $p_\xi$  – розподіл яскравості на вихідному зображенні;

$p_\eta$  – розподіл яскравості на сегментованому зображенні;

$R^2$  – площа зображення.

На рис. 4 наведений графік залежності відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування вихідного зображення (рис. 2) при сегментуванні зображення з використанням еволюційного методу. Відстань Кульбака-Лейбнера розраховувалась за виразом (6) з використанням логарифму за основою 2, отже відстань Кульбака-Лейбнера вимірюється у бітах, а для зображення в града (0...255) максимальне значення відстані Кульбака-Лейбнера дорівнює 8.

$K(p_\xi, p_\eta)$ , біт

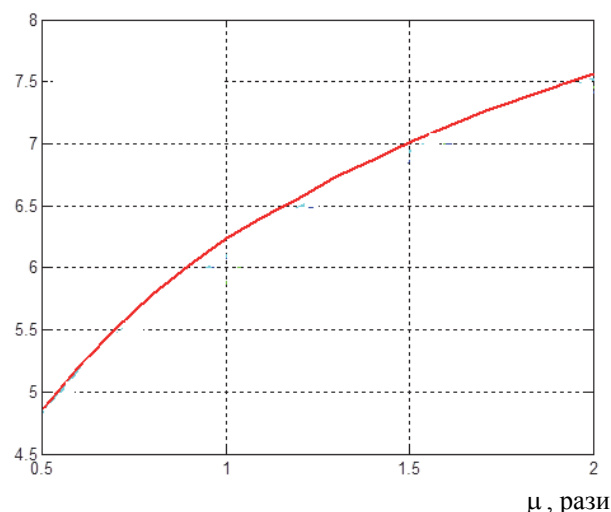


Рис. 4. Залежність відстані Кульбака-Лейбнера від зміни коефіцієнту масштабування вихідного зображення (рис. 2) при сегментуванні зображення з використанням еволюційного методу

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, проведені оцінки комплексних показників якості сегментування оптико-електронного зображення, що отримане з борту літального апарату. Запропоновано для оцінки якості сегментування використовувати інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера. Проведені розрахунки відстані Кульбака-Лейбнера при використанні еволюційного методу сегментування оптико-електронного зображення та зміни масштабу вихідного зображення.

Напрямок подальших досліджень є порівняння різних методів сегментування з використанням інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера.

## Список літератури

1. Гудима О.П. Проблеми використання інформації космічних систем та удосконалення геоінформаційного забезпечення при виконанні завдань АТО / О.П. Гудима, Г.В. Певцов, М.Ф. Пічугін // *Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017)*. – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 452.
2. Соколов К.О. Питання космічної діяльності в секторі безпеки і оборони / К.О. Соколов, О.П. Гудима, О.Б. Шиятий // *Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017)*. – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 453.
3. Кухарський І.А. Використання супутникових даних в інтересах ведення антитерористичних операцій / І.А. Кухарський, Г.В. Худов, В.О. Павлій // *Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017)*. – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 453-454.
4. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ / А.В. Захаров, П.П. Кольцов, Н.В. Котович, А.А. Кравченко, А.С. Куцаев, А.С. Осипов // *Труды НИИСИ РАН*. – 2012. – Том 2. – № 1. – С. 4-13.
5. Критерии оценки качества сегментации изображений / В. Захаров, П.П. Кольцов, Н.В. Котович, А.А. Кравченко, А.С. Куцаев, А.С. Осипов // *Труды НИИСИ РАН*. – 2012. – Том 2. – № 2. – С. 87-99.
6. Рубан І.В. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень / І.В. Рубан, В.Г. Худов, Р.Г. Худов // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПНТУ, 2017. – № 2 (42). – С. 143-146.

7. Худов В.Г. Мультиагентний метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов // *Системи озброєння та військова техніка: Науковий журнал*. – 2016. – № 3 (47). – С. 116-119.

8. Худов В.Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультиагентним методом / В.Г. Худов // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2016. – Вип. 1 (37). – С. 107-110.

9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>.

10. Liu J. Multiresolution color image segmentation / J.Liu, Y.H.Yang // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1994. – Vol. 16. № 7. – P. 689-700.

11. Borsotti M. Quantitative evaluation of color image segmentation results / M. Borsotti, P. Campadelli, R. Schettini // *Pattern Recognition Letters*. – 1998. Vol. 19. № 8. – P. 741-747.

12. Cheng H.D. Color image segmentation: advanced and prospects / H.D. Cheng, X.H. Jiang, Y. Sun, J. Wang // *Pattern Recognition*. – 2001. – Vol. 34. – № 12. – P. 2259-2281.

13. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд. ин. лит., 1963. – 829 с.

14. Яглом А.М. Вероятность и информация: 5-е изд. / А.М. Яглом, И.М. Яглом. – М.: КомКнига, 2007. – 512 с.

15. Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. – М.: Спутник+, 2004. – 111 с.

Надійшла до редколегії 28.04.2017

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

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПУТЕМ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И РАССТОЯНИЯ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБНЕРА

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

Проанализированы известные показатели качества сегментации оптико-электронных изображений. Проведена оценка комплексных показателей качества сегментации оптико-электронного изображения, полученного с борта летательного аппарата. Предложено для оценки качества сегментации использовать информационный показатель – расстояние Кульбака-Лейбнера. Проведены расчеты расстояния Кульбака-Лейбнера при использовании эволюционного метода сегментации оптико-электронного изображения и изменении масштаба исходного изображения.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, расстояние Кульбака-Лейбнера, комплексный показатель, признак.

### ESTIMATION OF THE QUALITY OF SEGMENTATION OF THE OPTICAL-ELECTRONIC IMAGE, BY ASSESSING THE COMPLEX INDICATORS AND KULBAK-LEIBNER DISTANCE

V. Khudov, A. Makoveychuk, I. Khizhnyak

The known quality indicators of the segmentation of optical-electronic images are analyzed. The estimation of complex indicators of segmentation quality of the optoelectronic image obtained from the aircraft side was carried out. It was proposed to use the information indicator - Kulbak-Leibner distance - to evaluate segmentation quality. Calculations of the Kulbak-Leibner distance are made using the evolutionary method of segmentation of the optoelectronic image and the scale of the original image.

**Keywords:** optical-electronic image, segmentation, Kulbak-Leibner distance, complex indicator, sign.