

УДК 536.532; 621.396

В.Г. Худов<sup>1</sup>, Г.А. Кучук<sup>1</sup>, О.М. Маковейчук<sup>2</sup>, А.В. Крижний<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Львів<sup>3</sup> Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ОТРИМАНІ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Виділені основні ознаки якісного сегментування та основні види можливих недоліків сегментування зображень, що отримані з бортових оптико-електронних систем спостереження. Проведено аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. Встановлені основні недоліки, що притаманні класичним методам сегментування зображень. Поставлене завдання щодо необхідності у подальших дослідженнях розробки методів сегментування з урахуванням специфіки формування зображення в бортових оптико-електронних системах спостереження.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, метод, градієнт, область, границя, кластеризація, об'єкт, параметри зображення.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо, що в теперішній час при вирішенні багатьох завдань використовуються зображення, що отримані бортовими системами оптико-електронного спостереження [1 – 5]. Для якісної обробки оптико-електронного зображення необхідно розбити його на елементи, тобто провести сегментування зображення. Задача сегментування у переважній більшості випадків визначається потребою виокремити об'єкти чи об'єкти на зображенні, причому в більшості випадків сегментування зображення проводиться в автоматичному режимі [6 – 8]. При використанні відомих методів сегментування зображення не завжди вдається забезпечити стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення (топологічних, геометричних, фотометричних).

**Мета статті** – провести аналіз відомих методів сегментування зображень, отриманих з бортових систем оптико-електронного спостереження.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** У теперішній час не існує загальної теорії сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, яка дозволяє отримати вичерпні рекомендації щодо оптимальному вибору методу сегментування та набору вхідних даних [9]. Виділяють такі ознаки якісного сегментування [10]:

- однорідність області по характеристикам (в першу чергу, по кольору та текстурі);
- відмінність значень обраних характеристик для суміжних областей зображення;
- гладкість границь кожного сегменту зображення;
- незначна кількість «дірок» у сегменті.

Враховуючи перераховане вище, витікають три

основні види можливих недоліків сегментування зображень бортових оптико-електронних систем спостереження [10]:

- неправильне сегментування, коли контури розподілу не співпадають з границями об'єктів на зображенні;
- пересегментування, коли має місце збільшений розподіл зображення на області;
- недосегментування, коли має місце недостатній розподіл зображення на області.

Зазвичай методи сегментування використовують декілька параметрів, підбираючи які можна уникнути останніх двох недоліків. Однак, перший недолік можна уникнути лише вибором методу сегментування. Відомо, що найбільш ефективні методи сегментування розроблені для конкретних завдань з урахуванням специфіки зображення [10-12].

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Загальна класифікація класичних методів сегментування наведена на рис. 1.

Найбільш відомі методи сегментації – порогова сегментація, центроїдне зв'язування, метод водорозділу. Всі ці методи використовують один принцип: групування в області пікселів, що розташовані поруч та мають рівень яскравості, що відрізняється не більш ніж на визначене число. Це число є порогом сегментування. В залежності від порога сегментування можна отримати різні результати сегментування зображення: різну кількість сегментів, різні параметри сегментів і т.і.

*Порогові методи сегментування зображення.*

При сегментуванні пікселя  $(i, j)$  зображення з яскравістю  $f_{ij}$  порогові методи визначають його значення у загальному випадку таким чином:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{у випадку } f_{ij} \leq T; \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (1)$$

де  $T$  - величина порогу сегментування.



Рис. 1. Загальна класифікація класичних методів сегментування зображення

При сегментуванні кольорових зображень, наприклад у просторі RGB, значення пікселів порогового методу сегментування мають такий вигляд:

$$p(z, a) = \begin{cases} 1, & \text{у випадку } D(z, a) \leq T; \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (2)$$

де  $D(z, a) = \left[ (z_R - a_R)^2 + (z_G - a_G)^2 + (z_B - a_B)^2 \right]^{1/2}$ ,

$a$  – центр кластеру, що відповідає області кольору зображення визначеного класу об'єктів у кольоровому просторі RGB;  $z$  – колір пікселю зображення.

У випадку, коли на вхідному зображенні є декілька об'єктів, використовується метод перерізу, коли задаються два пороги  $t$  та  $T$ , і сегментуються пікселі зображення об'єктів, яскравості яких знаходяться в межах заданих порогових значень:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{у випадку } 1 \leq f_{ij} \leq T; \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (3)$$

Порогові методи дозволяють проводити сегментування на простих зображеннях, але, як правило, не дають необхідного результату на зображеннях з наявністю нерівного освітлення, тіней та різного роду завад. Для зменшення впливу указаних недоліків розроблені методи, які реалізують аналіз вагових значень екстремумів (інтенсивність та градієнт).

В загальному випадку для коректного використання порогових методів:

- необхідно уникати «зміщення» при виборі порогового значення шляхом жорсткого контролю однаковості розподілу в темних та світлих областях гістограми яскравості;

- необхідно розбивати зображення на можливо

малі елементи, таким чином, щоб гістограма яскравості мала ярко виражені екстремуми;

- такі малі елементи, з іншого боку, повинні бути достатньо великими, щоб об'єм статистичної вибірки дозволяв задовільно оцінювати місцеположення екстремумів та описувати околицю.

*Методи нарощування областей.* Якщо на зображенні є стійка зв'язність окремих сегментів, то використовують методи нарощування областей – проводиться групування сусідніх елементів з однаковими або близькими рівнями яскравості, які потім об'єднуються в однорідні області. Найбільш відомими методами нарощування областей є центроїдне зв'язування, розщеплення областей та водорозділу.

При центроїдному зв'язуванні з використанням інформації щодо об'єкту обираються стартові точки, яким присвоюється різні мітки. Точки з однаковими мітками утворюють окремі множини. Такий метод може використовуватися лише для сегментування простих зображень. Для більш складних зображень вибір точок проводиться по ітераціям, на кожній з яких розглядається набір точок на предмет належності їх сусідів даній множині. Точки, що включені у множину на попередніх ітераціях, не розглядаються. Так проводиться аналіз всіх множин по черзі. Точки, що додані до множині на даній ітерації, називаються фронтом, а об'єднання фронтів – хвилюю, тому такий метод отримав назву – хвилювий.

Метод розщеплення областей розділяє точки зображення шляхом розбивання деяким чином зображення на квадрати, які потім аналізуються для їх перевірки на однорідність (частіше за все це однорідність за яскравістю). Якщо квадрат не задовольняє умовам однорідності, він замінюється чотирма «підквадратами», а чотири квадрати, що підходять за умови однорідності, можуть бути об'єднані в одну область.

Суть методу водорозділу полягає в тому, що після побудови поля контрасту зображення необхідно побудувати водорозділи (області високої контрастності).

На рис. 2 наведено вихідне зображення, а на рис. 3, 4 – сегментоване зображення з використанням методу водорозділу з різним значенням порогового рівня.



Рис. 2. Вихідне зображення [12]

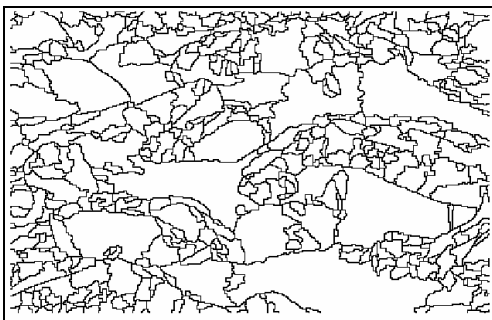


Рис. 3. Сегментоване зображення методом водорозділу (пороговий рівень – 5 одиниць) [12]

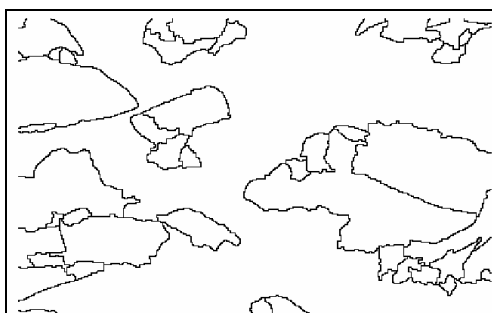


Рис. 4. Сегментоване зображення методом водорозділу (пороговий рівень – 15 одиниць) [12]

До переваги методів нарощування областей відноситься їх ефективність при роботі з зображеннями, на яких присутні шуми. До недоліків методів нарощування областей відносять в першу чергу те, що вони виділяють загальні фрагменти, в багатьох випадках не показуючи інформації щодо змін яскравості всередині області та можливих внутрішніх границях. В роботі [12] запропоновано метод структурного сегментування, який дозволяє вирішати завдання сегментування без вибору порога. При цьому задача структурного сегментування поділяється на такі етапи [12]:

- виділення початкових сегментів і контурів за допомогою модифікованого методу водорозділу;
- представлення контурного зображення у вигляді графа;
- знаходження структури сегментів.

Результати роботи модифікованого методу водорозділу наведено на рис. 5, 6.

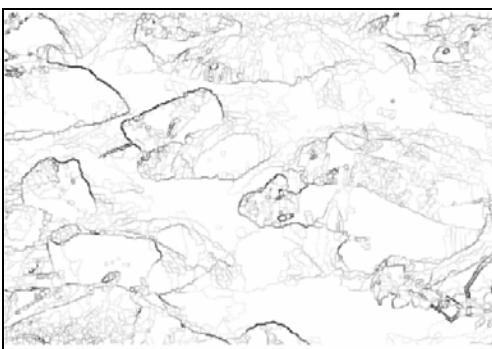


Рис. 5. Сегментоване зображення модифікованим методом водорозділу [12]

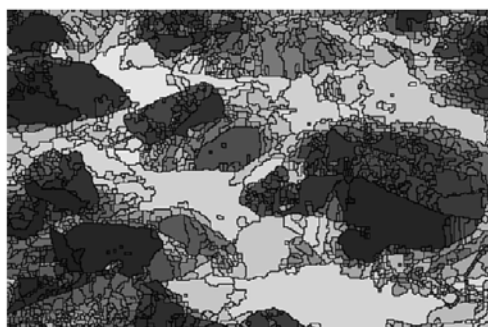


Рис. 6. Сегментоване зображення модифікованим методом водорозділу з виділенням середньої яскравості точок сегментів [12]

Основою методів сегментування залишаються контурні методи (методи сегментування границь зображення) в силу їх стійкості до незначних варіацій рівня яскравості та контрастності зображення. При цьому важливою є та особливість контурних методів, що по результатах їх застосування при необхідності може бути отримано не тільки границя, але і область зображення [9].

Методи виділення границь складаються з фільтрації (покращення виділення границь при наявності шумів), підсилення (акцент на точках, де існує перепад яскравості), виділення (з використанням порогового значення приймається рішення щодо включення точок в границю) і локалізації (визначення місця розташування та напрямку). На даний час існує багато кількості методів виділення границь, наприклад, з використанням операторів Робертса, Собела, Превітта, Канні та інші [7, 9]. Існуючі методи поділяються на методи порівняння з еталоном та диференціально-градієнтні методи [7, 9, 12]. Обидва методи визначають, коли коливання градієнта яскравості становиться достатньо великим, щоб стверджувати, що на цьому місці знаходиться границя об'єкта. Принципова різниця методів полягає в способі локальної оцінки градієнтного значення та визначенні локальної направленості границь.

В цілому методи виділення границь дають непогані результати для інтерпретації зображення. Карти границь можуть бути побудовані в різних масштабах, що дозволяє отримувати корельовано результати. Також границі виділення границь потребують менше ресурсів для проведення обчислень, а результуюча інформація займає суттєво менше місця для зберігання. Методи виділення границь рекомендовано використовувати тоді, коли границі мають достатню чіткість та стабільність. До недоліків методів виділення границь відносяться велика обчислювальна складність, використання різних масок, проблеми при роботі на зображеннях з шумами.

Окремою групою виділяються методи сегментування, що засновані на кластеризації. Їх переваги – автоматичні та можуть бути використані для будь-якої кількості ознак та класів.

Існуючі методи кластеризації, такі як K-середніх, медоїдний, CURE, ROCK, DBSCAN, створені для знаходження кластерів, які відповідають будь якій статичній моделі. Такі методи можуть дати збій, якщо параметри моделі обрані некоректно, по відношенню до класифікованим даним, або якщо модель не враховує у повній мірі характеристики кластерів. Також деякі методи допускають помилки, якщо дані складаються з кластерів різної форми, щільності та розмірів.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, кожен з розглянутих методів сегментування має визначену область застосування, яка залежить від вхідних даних, вимог до розпізнавання, об'ємів обчислювань, швидкості прийняття рішення тощо. Для кожної конкретної задачі необхідно обирати метод сегментування, що відповідає необхідним вимогам. Класичним методам сегментування зображень оптико-електронних систем спостереження притаманні такі основні недоліки:

- більшість методів не визначають границь об'єктів та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів;

- проведення сегментування лише по критерію рівня яскравості точки зображення, що не дає можливості визначити критерії гомогенності сегментів.

У подальших дослідженнях необхідно розробити методи сегментування з урахуванням специфіки формування зображення в бортових оптико-електронних системах спостереження.

### Список літератури

1. *Бойове застосування високоточних засобів поразення і особливості боротьби з ними.* / В.І. Ткаченко, С.П. Ярош, Є.Б. Смірнов та ін. – Х.: ХУПС, 2016. – 272 с.

2. *Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS)* / В.Г. Башинский, В.Б. Бзот, Е.И. Жулин и др. / – Запорожье : АО «Мотор-Сич», 2014. – 261 с.

3. *Москов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография* / С. Москов. – К.: Румб, 2008. – 160 с.

4. *Радецький В.Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія* / В.Г. Радецький, І.С. Руснак, Ю.Г. Даник. – К.: НАОУ, 2008. – 224 с.

5. *Даник Ю.Г. Застосування космічних і спеціальних сил та засобів в інтересах національної безпеки та оборони держави* / Ю.Г. Даник, Р.В. Храцевський. – К.: НАОУ, 2008. – 380 с.

6. *Шапиро Л. Компьютерное зрение: пер. с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман.* – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.

7. *Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05 / Смеляков Кирилл Сергеевич – Харьков, 2005. – 162 с.*

8. *Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне.* – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.

9. *Методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида, особенности их применения и перспективы развития / К.С. Смеляков, И.А. Романенко, И.В. Рубан и др. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2010. – Вип. 2 (24). – С. 92-97.*

10. *Барталев С.А. Анализ возможностей применения методов сегментации спутниковых изображений для выявления изменений в лесах / С.А. Барталев, Т.С. Ховратович // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8, № 1. – С. 44-62.*

11. *Самойленко Д.Е. Структурная сегментация изображений / Д.Е. Самойленко // Штучний інтелект, 2004. – № 4. – С. 521-528.*

12. *Whitey D.J. A review of Medical Image segmentation: Methods and available software / D.J. Whitey, Z.J. Koles // International Journal of Bioelectromagnetism, 2008. – Vol. 10. № 3. – P. 125-148.*

Надійшла до редколегії 22.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В.Г. Худов, Г.А. Кучук, А.Н. Маковейчук, А.В. Крижний

*Выделены основные признаки качественной сегментации та основные виды возможных недостатков сегментации изображений, полученных с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Проведено анализ известных методов сегментации изображений, полученных с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Установлено основные недостатки, которые присущи классическим методам сегментации изображений. Поставлена задача в дальнейших исследованиях разработки методов сегментации с учетом специфики формирования изображения в бортовых оптико-электронных системах наблюдения.*

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, метод, градиент, область, граница, кластеризация, объект, параметры изображения.

### ANALYSIS OF KNOWN METHODS OF SEGMENTATION OF IMAGES GENERATED ONBOARD SYSTEMS OPTIC-ELECTRONIC OBSERVATIONS

V.G. Hudov, G.A. Kuchuk, A.N. Makoveychuk, A.V. Krizhny

*The basic features of a quality of segmentation is the main types of possible shortcomings segmentation images from the onboard systems optic-electronic surveillance. The analysis of known methods using image segmentation obtained with airborne systems optic-electronic surveillance. Is running, mainly disadvantages that are inherent in the classical methods of image segmentation. The goal is to further research the development of segmentation methods z-specific imaging in airborne optoelectronic surveillance systems.*

**Keywords:** optic-electronic image segmentation method, gradient, area boundary, the clustering, the object, the image parameters.