

## МЕТОД СЕГМЕНТУВАННЯ БАГАТОМАСШТАБНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ОТРИМАНІ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*ХУДОВ В.Г., ХУДОВ Г.В.*

Пропонується при сегментуванні оптико-електронних зображень попередньо проводити їх багатомасштабне перетворення. Як ядро перетворення обрано гаусіан з відповідним значенням масштабного коефіцієнта. Як метод сегментування пропонується еволюційний метод. Проводяться експериментальні дослідження щодо сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень запропонованим методом.

**Ключові слова:** сегментування, багатомасштабність, послідовність, зображення, спостереження, бортова система, метод, ядро перетворення.

**Key words:** segmentation, multi-scale, sequence, image, observation, on-board system, method, kernel of transformation.

### 1. Постановка проблеми у загальному вигляді

Відомо [1-3], що сегментування зображення, яке отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження, є розділення зображення на області, що мають приблизно однаковий рівень яскравості (для напівтонових зображень) або однакові кольорові характеристики (для кольорових зображень). Для сегментування зображень (визначення границь або контурів об'єктів, розроблено багато методів [4, 5]. Але на зображеннях, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, в більшості присутні контури об'єктів з різними швидкостями зміни яскравості (для напівтонових зображень) або кольору (для кольорових зображень) [1, 2]. У зв'язку з цим неможливо найкращим чином визначити усі присутні на зображенні границі з використанням якогось конкретного методу сегментування. Тому для підвищення якості сегментування будемо використовувати методи, які дозволяють побудувати картину контурів об'єктів на зображенні на основі інформації, що отримується в результаті обробки зображень різних масштабів.

*Мета дослідження:* провести сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень еволюційним методом.

### 2. Аналіз останніх досягнень і публікацій

Існує декілька підходів до аналізу багатомасштабної інформації, тобто до побудови картини контурів об'єктів градієнтних зображень різного масштабу [6]. Існують підходи, в яких аналіз градієнтних зображень проводиться від грубих масштабів

до точних [7, 8] та від точних до грубих [9, 10]. Методи розрізняються за принципами побудови градієнтного зображення одного масштабу, але при цьому відкритим є питання, яким чином необхідно комбінувати багатомасштабну інформацію для побудови кінцевої картини границь. В роботі Бергольма [7] запропоновано метод, який полягає у послідовному аналізі багатомасштабної інформації від грубих масштабів до точних. Такий підхід дозволяє значно зменшити вплив шуму і, таким чином, уникнути хибного визначення контурів під впливом шумів. Недоліком методу [7] є можливе розділення контурів, що визначаються на грубих масштабах, на декілька окремих при переході до більш точного масштабу. Стратегія розгляду градієнтних масштабів від грубих до точних також відмічається в роботі [8]. Однак в тих випадках, коли на зображенні присутні невеликі об'єкти з різкими границями, точне визначення границь цих об'єктів при переході від грубих масштабів до точних є ускладненим, оскільки на градієнтних зображеннях грубого масштабу виникає значне зміщення положення різких контурів.

В роботах [9, 10] кінцева картина границь складається на основі аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих. При цьому основними задачами є зменшення впливу шуму, до якого чутливі оператори градієнта малого розміру, та комбінування границь, що отримані на точних масштабах, з плавними границями, які визначаються на грубих масштабах. При успішному рішенні таких проблем підхід до аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих є найбільш ефективним для багатьох практичних випадків, в яких необхідно достатньо точно визначити контури об'єктів. Однак методи, що наведені в [7-10] можуть бути застосовані для сегментування сканованих зображень сторінок книг, газет, журналів з великою кількістю об'єктів невеликого розміру, наприклад, букв та символів.

Методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень в промислових системах контролю якості наведені в роботах [11, 12]. Однак розроблені в роботах [11, 12] методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень можуть бути використані при:

- зменшенні часу на розшифровку рентгенографічних знімків зварних з'єднань;
- подавленні шуму на рентгенограмах без внесення додаткових спотворень;
- виділенні дефектів зварних з'єднань;
- виявленні групових дефектів зварних швів;

– проведенні якісного аналізу мікроструктури металів;  
 – відновленні томографічних зображень за неповними даними.

Методи, що запропоновані в [11, 12], не можна напряму використовувати для обробки багатомасштабної послідовності зображень, отриманих з бортових систем оптико-електронного спостереження.

### 3. Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Багатомасштабне перетворення вихідного зображення  $f(x, y)$ , де  $(x, y)$  - просторові координати зображення, будемо представляти у вигляді:

$$L(x, y, t) = g(x, y, t) * f(x, y), \quad (1)$$

де  $L(x, y, t)$  – багатомасштабне перетворення вихідного зображення  $f(x, y)$ ;  $g(x, y, t)$  – ядро перетворення;  $t$  – масштабний коефіцієнт;  $*$  – оператор згортки.

Необхідно зауважити, що у виразі (1) згортка виконується за просторовими координатами  $(x, y)$ , а масштабний коефіцієнт  $t$  лише указує, для якого масштабу проводиться операція згортки.

Ядро перетворення  $g(x, y, t)$  будемо обирати у вигляді гаусіана:

$$g(x, y, t) = \frac{1}{2\pi t} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2t}}. \quad (2)$$

Вибір саме такого виду ядра перетворення обумовлений унікальністю гаусового ядра, яке включає лінійність, інваріантність до зрушення, не підсилення локальних екстремумів на вихідному зображенні, інваріантність до масштабних спотворень та інваріантність до обертання зображення [13].

Масштабний коефіцієнт  $t$  відіграє роль дисперсії у виразі для гаусіана (2). При  $t=0$  ядро перетворення  $g(x, y, 0)$  стає імпульсною функцією, такою, що  $L(x, y, 0) = f(x, y)$ , тобто масштабне перетворення вихідного зображення є саме вихідне зображення  $f(x, y)$ .

При збільшенні масштабного коефіцієнта  $t$  багатомасштабне перетворення  $L(x, y, t)$  є результатом згладжування вихідного зображення  $f(x, y)$ .

Після отримання багатомасштабного перетворення вихідного зображення  $L(x, y, t)$  проведемо сегментування кожного з зображень при різних значеннях масштабного коефіцієнта  $t$ . Для проведення сегментування будемо використовувати еволюційний метод, запропонований в роботі [3].

Отже, в найпростішому випадку сегментування зображення можна представити як сукупність таких 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. У подальшому вважаємо, що положення ВТМ, КТМ та поворотних точок маршруту повністю визначає маршрут руху агента.

Рух по кожній з ділянок маршруту, а також здійснення повороту у вибраних ПТМ має певні небезпеки та вимагає певних витрат ресурсів, що призводить до 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. Продемонструємо, як прокласти маршрут руху з використанням простішого еволюційного методу (ЕМ).

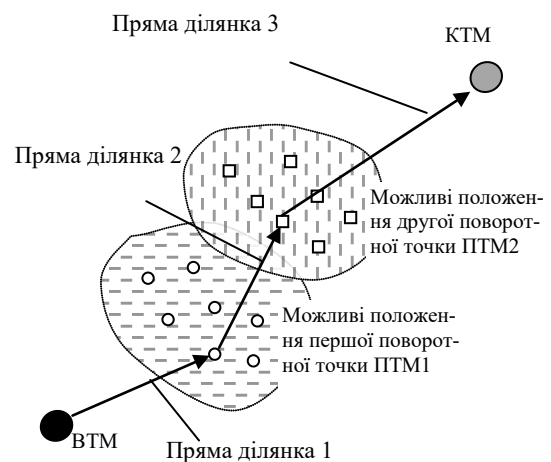


Рис. 1. Приклад представлення маршруту руху агента на зображенні при сегментуванні зображення [3]

ЕМ, використаний в [3], оснований на імітації природного механізму пошуку найкоротшого шляху до джерела їжі колонією мурах (агентів). Самоорганізація системи забезпечується низькорівневою взаємодією агентів, при цьому агенти обмінюються тільки локальною інформацією, для передачі якої вони використовують спеціальний секрет – феромон, що відкладається агентом на своєму маршруті. Наступний агент, який буде знаходитись поблизу маршруту руху першого, сприймає феромон та з високою ймовірністю продовжить рух по шляху першого агента, в свою чергу відкладаючи феромон (підвищуючи його концентрацію на маршруті). Чим вища концентрація феромону на маршруті, тим вища привабливість цьо-

го маршруту для наступних агентів. Розподіл феромону в навколишньому середовищі є немовби динамічною пам'яттю системи. Кожний агент в певний момент часу сприймає та змінює одну гратку цієї пам'яті – рівень феромону в околиці точки, в якій агент перебуває.

Концентрація феромону, відкладеного на маршруті, пропорційна привабливості (якості, ефективності) маршруту. Чим привабливіший буде маршрут, тим більшою буде концентрація феромону на ньому, в результаті кращі маршрути зберігаються в глобальній пам'яті колонії агентів і з вищою ймовірністю будуть обрані наступними агентами.

З часом феромон випаровується, що забезпечує зворотний зв'язок. Оскільки, як зазначено вище, концентрація феромону буде поступово збільшуватись на привабливих маршрутах, а швидкість його випаровування є постійною, через деякий час невдалі маршрути зникнуть, і все більше агентів будуть здійснювати рух лише по вдалих маршрутах. Використання зворотного зв'язку (випаровування) попереджує завчасну сходимость рішень – вибір агентами одного і того ж субоптимального маршруту.

В простішому ЕМ 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  $t$  так:

$$P_i^m(t) = \frac{F_i(t)^\alpha \cdot L_i^\beta}{\sum_{j=1}^J F_j(t)^\alpha \cdot L_j^\beta}, \quad (3)$$

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

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

$$L_i = \frac{1}{D_i}, \quad (4)$$

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:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (5)$$

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.

На рис. 2 наведено результати використання ЕМ для сегментування зображення [3]. Кращі маршрути позначені жирними лініями. Колами відмічені ділянки зображення, де необхідно змінити маршрут руху агентів (їх фізичний смисл необхідно визначити у подальших дослідженнях).

З аналізу рис. 2 видно, що після 100 ітерацій рівень феромону на всіх маршрутах значно зменшується внаслідок випаровування (тонші лінії). Після 300 ітерацій кращий маршрут, який і є оптимальним для проведення сегментування, виділяється явно (рис. 2,б).

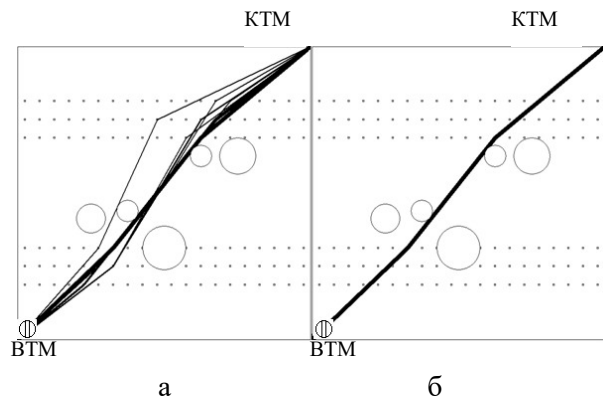


Рис. 2. Результати використання ЕМ для сегментування зображення [3]: а – після 100 ітерацій; б – після 300 ітерацій

#### 4. Висновок і напрямки подальших досліджень

Запропоновано метод сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень.

У подальших дослідженнях необхідно провести оцінку ефективності запропонованого методу та його порівняльну оцінку з іншими методами сегментування оптико-електронних зображень.

**Література:** 1. *Башинский В.Г., Бзот В.Б., Жилин Е.И.* Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS). Запорожье: изд. АО «Мотор-Сич», 2014. 261 с. 2. *Барталев С.А., Ховратович Т.С.* Анализ возможностей применения методов сегментации спутниковых изображений для выявления изменений в лесах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 44-62. 3. *Худов В.Г.* Мультиагентный метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження // Системи озброєння і військова техніка, 2016. № 3 (47). С. 116-119. 4. *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 // Збірник наукових праць ХУПС. 2010. Вип. 2 (24). С. 92-97. 5. *Худов В.Г., Кучук Г.А., Маковейчук О.М., Крижний А.В.* Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження // Системи обробки інформації. 2016. Вип. 9 (146). С. 77-80. 6. *Ziou D., Tabbone S.* Edge Detection Techniques // An Overview technical report: Dept Math & Informatique. Universit de Sherbrooke. 1997. № 195. P. 567-578. 7. *Bergholm F.* Edge Focusing // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1987. № 9. P. 726-741. 8. *Williams D.J., Shas M.* Edge Contours Using Multiple Scales // Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990. № 51. P. 256-274. 9. *Lacroix V.* The Primary Raster: A Multiresolution Image Description // In Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition, 1990. P. 903-907. 10. *Canny J.F.* A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. № 8. P. 679-698. 11. *Жизняков А.Л.* Формализация некоторых понятий теории обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 3 (29). С. 354-358. 12. *Жизняков А.Л., Садыков С.С.* Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 121 с. 13. *Babaud J., Witkin A.P., Baudin M., Duda R.O.* Uniqueness of the Gaussian kernel for scale-space filtering // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1986. № 8. P. 26-33.

#### **Transliterated bibliography:**

1. *Bashinsky V.G., Bzot V.B., Zhilin E.I.* Small-size unmanned aerial systems (Mini UVS). Zaporozhye: ed. Motor-Sich JSC, 2014. 261 p. 2. *Bartalev S.A., Khovratovich T.S.* Analysis of the possibilities of applying satellite image segmentation methods to detect changes in forests // Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2011. Т. 8. No. 1. P. 44-62. 3. *Khudov V.G.* Multiagent method of segmentation of images obtained from on-board systems of optoelectronic observation // Armament and military equipment systems, 2016. No. 3 (47). Pp. 116-119. 4. *Smelyakov K.S., Romanenko I.A., Ruban I.V., Kirillova N.I., Shitova O.V.* Methods of image segmentation of ir-

regular objects, features of their application and perspectives of development // Zbirnik Naukovych prac KHUPS, 2010. Vip. 2 (24). Pp. 92-97.

5. *Khudov V.G., Kuchuk G.A., Makoveichuk O.M., Kryzhik A.V.* Analysis of known methods for image segmentation obtained from on-board systems of optoelectronic observation // Systems of information processing, 2016. Vip. 9 (146). Pp. 77-80.

6. *Ziou D., Tabbone S.* Edge Detection Techniques // An Overview technical report: Dept Math & Informatique. Universit de Sherbrooke, 1997. № 195. Pp. 567-578.

7. *Bergholm F.* Edge Focusing // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987. № 9. Pp. 726-741.

8. *Williams D.J., Shas M.* Edge Contours Using Multiple Scales // Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990. № 51. Pp. 256-274.

9. *Lacroix V.* The Primary Raster: A Multiresolution Image Description // In Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition, 1990. Pp. 903-907.

10. *Canny J.F.* A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986. № 8. Pp. 679-698.

11. *Zhizniakov A.L.* Formalization of some concepts of the theory of processing multiscale sequences of digital images // Control Systems and Information Technology, 2007. No. 3 (29). Pp. 354-358.

12. *Zhiznjakov A.L., Sadykov S.S.* Theoretical bases of processing of multiscale sequences of digital images. Vladimir: Publishing house of Vladimir. State. University, 2008. 121p.

13. *Babaud J., Witkin A.P., Baudin M., Duda R.O.* Uniqueness of the Gaussian kernel for scale-space filtering // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1986. № 8. Pp. 26-33.

Надійшла до редколегії 04.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.В.

**Худов Владислав Геннадиевич**, аспірант ХНУРЕ. Научні інтереси: обробка інформації в сучасних інформаційних системах. Адрес: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 097-497-11-82

**Худов Геннадій Володимирович**, д-р техн. наук, професор, начальник кафедри Харківського національного університету Воздушних Сил ім. Й. Кожедуба. Научні інтереси: обробка інформації в сучасних інформаційних системах. Адрес: Україна, 61000, Харків, ул. Сумська, 77/79, тел. 097-394-36-20

**Khudov Vladislav Gennadievich**, post-graduate student of the Kharkov National University of Radioelectronics. Scientific interests: information processing in modern information systems. Kharkov, Science ave., 14, phone number 097-497-11-82

**Khudov Hennadii Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of the Kharkov National Air Force University named after Ivan Kozhedub. Scientific interests are the processing of information in modern information systems. Kharkov, Sumskaya str., 77/79, phone number 097-394-36-20.