

УДК 004.932

В.Г. Худов<sup>1</sup>, І.А. Хижняк<sup>2</sup>, О.А. Петров<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>3</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

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

Встановлюється, що використання відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, не забезпечує стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення. Теоретично обґрунтована можливість використання ройового методу сегментування оптико-електронних зображень, визначена цільова функція при вирішенні задачі кластеризації мультиспектрального знімку.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, ройовий метод, цільова функція, кластеризація, бортова система, оптимізаційна задача.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо [1-4], що в сучасних умовах ведення мережецентричних, гібридних війн, антитерористичної операції (АТО) на території Донецької та Луганської близько 80% розвідувальних завдань, 60% завдань по забезпеченню охорони та 50% завдань по забезпеченню вогневого ураження вирішується за допомогою інформації, що отримується з бортових систем спостереження (безпілотні літальні апарати (БПЛА), космічні системи спостереження).

Використання інформації бортових систем спостереження дозволить [5]:

- значно підвищити ефективність застосування озброєння і військової техніки;
- забезпечити економію сил та засобів при гарантованому ураженні об'єктів противника;
- створити умови для оперативного управління ресурсами сил та засобів;
- забезпечити можливість швидкого зосередження необхідних сил та засобів на критичних напрямках ведення бойових дій;
- здійснити необхідну тривалість спостереження за територією противника з метою своєчасного розкриття його замислу та визначення складу сил та засобів;
- забезпечити стійку інформаційну підтримку бойових дій військ в різних умовах.

Результат обробки зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості сегментування зображень, особливо з урахуванням особливостей їх отримання (різномірний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів) [4, 6-8]. Отже, при використанні відомих методів сегментування

зображення не завжди вдається забезпечити стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення (топологічних, геометричних, фотометричних).

**Мета статті** – теоретично обґрунтувати можливість використання ройових методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Систематизація та аналіз ефективності сучасних методів сегментування зображення наведено в [6-11]. Встановлено, що в теперішній час не існує загальної теорії сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, яка дозволяє отримати вичерпні рекомендації щодо оптимального вибору методу сегментування та набору вхідних даних [11]. Виділяють такі ознаки якісного сегментування [6]:

- 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, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження [6]:

- 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 [6, 12-14].

В останній час для сегментування зображення все частіше застосовуються методи штучного інтелекту, наприклад, генетичні методи [15, 16]. Генетичні методи – самостійний розділ теорії штучного інтелекту – еволюційних обчислень, які засновані на математичному моделюванні процесів біологічної еволюції. Генетичні алгоритми застосовуються для вирішення оптимізаційних задач, їх предметна область включає проблеми комбінаторики, біоінформатики, теорії ігор, а також – обробка і розпізнавання образів, зокрема зображень [16].

Для сегментування зображення також використовуються штучні нейронні мережі, які дають добрі результати, але при цьому необхідно обов'язково мати оптимальне налаштування параметрів мереж [17].

При сегментуванні зображення часто використовується метод *k*-середніх, який засновано на мінімізації середньоквадратичної помилки [17]. З використанням методу *k*-середніх проводиться кластеризація точок (пікселів) на зображенні – будується *k* різних кластерів. Вибір кількості кластерів *k*, як правило, базується на результатах попередніх досліджень або на основі оцінки людиною. Загальна ідея методу полягає в тому, що для заданої *k* кількості кластерів необхідно знайти множину кластерів таким чином, щоб середні значення яскравості в кластерах максимально відрізнялися одне від іншого [17]. В роботі [17] розглянута модифікація методу сегментування *k*-середніх з використанням методу мурашиних колоній.

В роботі [11] теоретично обґрунтована можливість використання мультиагентного методу сегментування оптико-електронних зображень, визначений оптимальний рух агентів при сегментуванні оптико-електронного зображення.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

В роботі для сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, будемо розглядати нові методи, які відносяться до еволюційних методів та засновані на моделюванні соціальної поведінки живих істот – ройові методи (PSO – particle swarm optimization) та мурашині методи (AS – ant system). Більш детальніше розглянемо простіший ройовий метод сегментування оптико-електронного зображення.

При викладенні матеріалу будемо опиратися на роботи [18, 19].

Ройові методи – методи стохастичної оптимізації, що моделюють складні розрахункові задачі з використанням поведінки зграйних природних організмів (зграя птахів, зграя комах в рої, косяк риб й т.п.) [19, 20]. Початкова популяція можливих рішень так, як і в еволюційних алгоритмах генерується випадковим чином, а далі з використанням ітеративних методів ведеться пошук оптимального (субоптимального) рішення.

Простіший ройовий метод використовує рій частинок, поведінка якої в гіперпросторі пошуку рішення увесь час підлаштовується у відповідності зі своїм досвідом та досвідом своїх сусідів. Окрім того, кожна частинка пам'ятає свою кращу позицію з досягнутим локальним найкращим значенням цільової (фітнес-) функції та знає найкращу позицію частинок – своїх сусідів, де досягнуто глобальний на поточний момент оптимум. У процесі пошуку частинки рою обмінюються інформацією про досягнуті кращі результати і змінюють свої позиції та швидкості за певними правилами на основі існуючої на поточний момент інформації про локальні й глобальні досягнення. При цьому глобальний кращий результат відомий усім частинкам і негайно корегується у тому випадку, коли деяка частинка рою знаходить кращу позицію з результатом, що перевершує поточний глобальний оптимум. Кожна частинка зберігає значення координат своєї траєкторії з відповідними кращими значеннями цільової функції, які позначимо  $u_i$ , котра відображає когнітивну компоненту. Аналогічно значення глобального оптимуму, яке досягнуте частинками рою, будемо позначати  $\hat{u}_i$ , що відображає соціальну компоненту. Таким чином, кожна частинка рою підпорядковується достатньо простим правилам поведінки, які формально викладаються нижче та враховують локальний успіх кожної особи та глобальний оптимум усіх осіб (або деякої кількості сусідів) рою.

Кожна *i*-та частинка має такі характеристики, як швидкість  $v_i(t)$  та місцезнаходження  $x_i(t)$  у момент часу *t* [19].

Місцезнаходження частинок змінюється у відповідності з виразом (1):

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (1)$$

де  $x_i(0) \in [x_{\min}, x_{\max}]$ .

Процесом пошуку рішення управляє вектор швидкості  $v_i(t+1)$ . Даний вектор складається з компонент, для розрахунку яких використовується когнітивна й соціальна складові рою:

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_{1j}(t)[y_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2r_{2j}(t)[\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t)], \quad (2)$$

де *w* - коефіцієнт інерції (емпіричний коефіцієнт);

$v_{ij}(t)$  –  $j$ -та компонента швидкості ( $j = \overline{1, n_x}$ ) частинки  $i$  в момент  $t$ ;  
 $x_{ij}(t)$  –  $j$ -та координата позиції частинки  $i$ ;  
 $c_1$  та  $c_2$  – коефіцієнти прискорення (позитивні);  
 $r_{1j}(t), r_{2j}(t) \in [0, 1]$  – випадкові величини від  $[0, 1]$ , задача яких вносити випадковість в процес пошуку;  
 $y_{ij}(t)$  – найкраща позиція частинки  $i$  по координаті  $j$ .

Коефіцієнт  $c_1$  є когнітивним (пізнавальним) параметром, що відображає довіру частинки до її особистого минулого, коефіцієнт відповідає за виявлення нових областей в просторі пошуку. Коефіцієнт  $c_2$  є соціальним параметром, що показує, наскільки частинка довіряє рою, коефіцієнт відповідає за дослідження околиць перспективної області, що знайдена раніше.

Коефіцієнт інерції (емпіричний коефіцієнт)  $w$  відповідає за зміну швидкості та управління виявленням нових областей та пошуком в околицях перспективної області.

Для задачі мінімізації краща позиція ( $g_{best}$ ) в момент  $(t+1)$  розраховується таким чином:

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t), & \text{if } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)); \\ x_i(t+1), & \text{if } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)), \end{cases} \quad (3)$$

де  $f: \mathbb{R}^{n_x} \rightarrow \mathbb{R}$  – цільова функція, яка визначає, наскільки поточне рішення близьке до оптимального.

$\hat{y}_j(t)$  ( $p_{best}$ ) в момент  $t$  розраховується таким чином:

$$\hat{y}(t) \in \{y_0(t), \dots, y_{n_s}(t)\}; \quad (4)$$

$$f(\hat{y}(t)) = \min \{f(y_0(t)), \dots, f(y_{n_s}(t))\},$$

де  $n_s$  – загальне число частинок рою.

Дані дії повторюються з кожною частинкою під час пошуку. Приріст швидкості є величиною фіксованою, що забезпечує сходимість методу. Обчислення повторюються до тих пір, поки не буде досягнута задана кількість ітерацій або до тих пір, поки приріст швидкості не стане достатньо близьким до нуля. Якість частинок вимірюється цільовою (фітнес) функцією, яка відображає оптимальність відповідного рішення. Вибір цільової функції для сегментування оптико-електронних зображень не розглядається в роботі, а є предметом подальших досліджень.

Наприклад, в роботах [21, 22] цільова функція при вирішенні задачі кластеризації мультиспектрального знімку визначається виразом [5]:

$$f(x_i, Z) = w_1 \bar{d}_{\max}(Z, x_i) + w_2 (z_{\max} - d_{\min}(x_i)), \quad (5)$$

де  $z_{\max}$  – максимальне значення пікселя в мультиспектральному зображенні;

$Z$  – матриця належності пік селів кластерам частинки  $i$ .

Кожен елемент  $z_{ijp}$  показує, чи належить піксель  $z_p$  кластеру  $c_{ij}$  частинки  $i$ . Константи  $w_1$  та  $w_2$  є визначеними. Максимальна евклідова відстань від частинок до асоційованих з ними кластерів визначається за виразом (6):

$$\bar{d}_{\max}(Z, x_i) = \max_{j=1 \dots N_c} \left\{ \sum_{z_p \in c_{ij}} d(z_p, m_{ij}) / |c_{ij}| \right\}, \quad (6)$$

де  $|c_{ij}|$  – потужність множини  $c_{ij}$ .

Мінімальна евклідова відстань між усіма парами кластерів визначається виразом (7):

$$d_{\min}(x_i) = \max_{\forall j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{d(m_{j_1}, m_{j_2})\}, \quad (7)$$

де  $m_{ij}$  відповідає вектору центру  $j$ -го кластеру  $i$ -ої частинки.

Цільова функція (5) забезпечує виконання двох оптимізаційних задач:

- зведення до мінімуму внутрішніх відстаней між пік селями кластерів та їх середніми

$\bar{d}_{\max}(Z, x_i)$ ;

- зведення до максимуму зовнішніх відстаней міжлюбими парами кластерів, що забезпечується  $d_{\min}(x_i)$ .

Пріоритети між наведеними задачами можуть бути визначені за рахунок коефіцієнтів  $w_1$  та  $w_2$ .

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, встановлено, що при використанні відомих методів сегментування зображення не завжди вдається забезпечити стійкість методів сегментування до варіацій різних параметрів зображення (топологічних, геометричних, фотометричних).

Теоретично обґрунтована можливість використання ройового методу сегментування оптико-електронних зображень, визначена цільова функція при вирішенні задачі кластеризації мультиспектрального знімку.

Напрямок подальших досліджень є вибір цільової функції при сегментуванні зображення, що отримане з бортових систем оптико-електронного спостереження.

## Список літератури

1. Савин Л.В. *Сетецентрическая и сетевая война. Введение в концепцию*. М.: Евразийское движение, 2011. – 130 с.
2. Башинский В.Г., Бзот В.Б., Жилин Е.И. и др. *Малогобаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS): монография*. Запорожье: изд. АО «Мотор-Сич», 2014. 261 с.
3. Застосування БпЛА в конфліктах сучасності: Ю.К. Зіатдінов, М.В. Куклінський, А.Л. Феценко, С.П. Мосов (ред.). К., 2013. 369 с.
4. Худов В.Г., Маковейчук О.М. Генетичні алгоритми для сегментування зображень систем оптико-електронного спостереження // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. № 2 (23). С. 142-145.
5. Методические основы системных исследований и решения проблем технического оснащения вооруженных сил государства: монография / коллектив авторов; под ред. Б.А.Демидова и О.П.Коростелева. Кн. 1. К.: Издательский дом «Стилос», 2016. 655 с.
6. 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.
7. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук / Харьковский университет Воздушных Сил. Харьков, 2005. 162 с.
8. 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.
9. Стружайло В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. *Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Н.Э.Баумана*. [Электронный ресурс]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/411847.html> / (дата обращения 16.04.2017).
10. Самойленко Д.Е. Структурная сегментация изображений // *Штучний інтелект*. 2004. № 4. С. 521-528.
11. 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.
12. Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2010. Т. 7. № 3. С. 215-225.
13. Златопольский А.А. Выделение на изображении однородных участков с неполными границами // *Исследование Земли из космоса*. 1985. № 1. С. 94-102.
14. Левашкина А.О., Поршнев С.В. Исследование супервизорных критериев оценки качества сегментации изображений // *Известия Томского политехнического университета*. 2008. Т. 313. № 5. С. 28-33.
15. Махно Т.А. Автоматизированная система обработки ультразвуковых изображений сонных артерий на основе эволюционных алгоритмов // *Электротехнические и компьютерные системы*. 2015. № 18 (94). С. 92-99.
16. Худов В.Г., Маковейчук О.М. Генетичні алгоритми для сегментування зображень систем оптико-електронного спостереження. // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. № 2. С. 142-145.
17. Эль-Хатиб С.А., Эль-Хатиб А.И., Скобцов Ю.А. Сегментация изображений методом муравьиных колоний // *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2013. № 1 (46). С. 204-211.
18. Скобцов Ю.А., Эль-Хатиб С.А. Компьютерная система сегментации медицинских изображений методом роя частиц // *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2015. № 33 (1142). С. 144-151.
19. Эль-Хатиб С.А. Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального алгоритмов роя частиц // *Информатика и кибернетика*. 2015. № 1. С. 126-133.
20. Скобцов Ю.А., Сперанский Д.В. Эволюционные вычисления: учебное пособие. М.: Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2015. 331 с.
21. Вериковский Е.А. Роевой алгоритм оптимизации в задаче кластеризации мультиспектрального снимка // *Известия ЮФУ*. 2015. № 3. С. 102-107.
22. An Analysis of Particle Swarm Optimizers / Bergh F., PhD Thesis, University of Pretoria, South Africa, 2002.

Надійшла до редколегії 16.02.2017

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

### РОЕВЫЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В.Г. Худов, И.А. Хижняк, О.А. Петров

Устанавливается, что использование известных методов сегментации изображений, полученных с бортовых систем оптико-электронного наблюдения, не обеспечивает стойкость методов сегментации к вариациям различных параметров изображения. Теоретически обоснована возможность использования роевого метода сегментации оптико-электронных изображений, определена целевая функция при решении задачи кластеризации мультиспектрального снимка.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, роевой метод, целевая функция, кластеризация, бортовая система, оптимизационная задача.

### SWARM METHOD OF SEGMENTATION OF IMAGES RECEIVED FROM ON-BOARD OPTICAL-ELECTRONIC SURVEILLANCE SYSTEMS

V.G. Khudov, I.A. Khizhnyak, A.A. Petrov

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.

**Keywords:** optic-electronic image, segmentation, swarm method, objective function, clustering, airborne system, optimization problem.