

УДК 004.932

І.А. Хижняк

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків*

## ІНТЕГРУВАННЯ МУРАШИНОГО ТА РОЙОВОГО МЕТОДІВ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ, ЩО ОТРИМАНО З БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Проведено стислий аналіз сучасних еволюційного та ройового методів сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження. Для підсилення переваг та послаблення недоліків еволюційного (мурашиного) методу та ройового методів запропоновано удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів. Викладена сутність запропонованого удосконаленого методу сегментування.*

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, ройовий метод, мурашиний метод, еволюційний метод, бортова система, інтегрування.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо [1–4], що в теперішній час не існує загальної теорії оптимального представлення та обробки зображень. Вибір конкретної технології обробки зображень залежить від задач, що вирішуються, та вимог, що висуваються до результату обробки. Існує велика кількість практичних задач, що потребують виявлення об'єктів інтересу на оптико-електронних зображеннях [5].

Складність обробки зображень обумовлена:

- по-перше, аномаліями (невеликими областями зображення), які можуть бути прийнятими за шум або дефект зображення;
- по-друге, невідомою формою та нечіткими границями об'єктів інтересу.

Викладене вище стосується і зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, що вирішують завдання в інтересах безпеки і оборони [5, 6]. Результат обробки зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості методу сегментування зображення. Тому перед розробниками систем обробки зображень постає вирішення актуального завдання розробки методик та методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Відомо [3, 6], що в теперішній час для сегментування зображень, використовуються генетичні методи. При використанні генетичних методів пошук рішення проходить на підмножині точок простору пошуку, що досягається створенням множини потенційних рішень, яке формує популяцію. Популяція удосконалюється за допомогою генетичних операторів, які відповідають за змінність та фітнес-функції, що моделюють природний відбір. Спадщина забезпечується

тим, що нові хромосоми формуються з хромосом попереднього покоління і, відповідно, мають загальні з ними гени. Якщо генетичний метод є коректним, то з кожним новим поколінням середнє значення фітнес-функції популяції та найкраще значення фітнес-функції зростають в сторону глобального оптимуму. В теперішній час генетичні методи активно використовуються для сегментування медичних зображень [3].

Для вирішення завдання сегментування медичних зображень також використовуються еволюційні методи [3]. В роботі [7] показано, що відомі еволюційні методи сегментування медичних зображень не можуть бути використані для сегментування оптико-електронних зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

По-перше, це пов'язано з різними умовами формування зображень та інформаційною складовою, що представлена на зображенні.

По-друге, це пов'язано з різними завданнями, що вирішуються при обробці зображень.

В роботі [7] поставлено завдання використання відомих еволюційних методів сегментування для сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. В [7] викладена сутність простішого еволюційного методу сегментування зображення, який відноситься до мурашиних методів. Процес сегментування зображення представлений як сукупність ділянок руху агентів (мурах). Визначено ймовірність переходу з однієї поворотної точки маршруту до іншої з урахуванням привабливості маршруту та концентрації феромонів на ньому. Завчасна сходимість рішень (вибір агентами одного й того ж маршруту) попереджається використанням зворотнього зв'язку – випаровуванням феромонів. Розраховуються параметри, що задають вагу феромона і привабливість ділянки. Визначаються найпривабливіші за вибраним критерієм маршрути, концентрація феромону на яких максимальна.

Феромон на непривабливих маршрутах поступово «висихає» і непривабливі маршрути зникають. При перевірці працездатності простішого еволюційного методу сегментування встановлено, що можливі реалізації методу з відверто невдалими результатами.

В [7] також викладена сутність удосконаленого еволюційного методу сегментування зображення, який є розвитком простішого еволюційного методу. В удосконаленому методі тільки найкращі агенти підвищують рівень феромону на своїх маршрутах. Рівень феромону на маршрутах є обмежений. Отримано вираз для оновлення рівня феромону. Кращим маршрутом може бути або кращий маршрут, знайдений в поточній ітерації (iteration best), або кращий маршрут, знайдений з початку роботи метода (best-so-far).

В роботі [8] викладена сутність простішого ройового методу сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження.

В роботах [7, 8] проведені експериментальні дослідження щодо сегментування еволюційним методом зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження. На сегментованому зображенні для прикладу визначені можливі об'єкти інтересу та встановлено, що виділені контури основних об'єктів інтересу співпадають з границями об'єктів на вихідному зображенні. Відмічається наявність на сегментованому зображенні великої кількості виділених контурів об'єктів малого розміру, наводиться приклад такої області. Оцінка ефективності застосування еволюційного методу проведена візуальним способом.

Для підсилення переваг та послаблення недоліків еволюційного (мурашиного) методу та ройового методів в роботі [9] запропоновано ройовий інтелект на основі інтеграції моделей адаптивної поведінки мурашиної та бджолоїної колоній. Але напряду результати роботи [9] не можуть бути використані при сегментуванні оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження.

**Мета статті** – удосконалити еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Основна мета при розробці ройового інтелекту полягає в інтеграції метаевристик, які закладені в бджолоїному та мурашиному методах сегментування [9]. При розробці удосконаленого еволюційного методу сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, будемо опиратися на результати, що отримані в роботі [9].

Суть інтегрування мурашиного та ройового методів сегментування полягає в комплексуванні процедур еволюційного (мурашиного) [7] та ройового [8] методів сегментування та обмін функціями основних агентів указаних методів (мурахи та бджоли). Такий спосіб інтегрування мурашиного та ройового методів сегментування приводить до створення гібридного агента, який послідовно виконує функції мурахи та бджоли. Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, наведений на рис. 1.

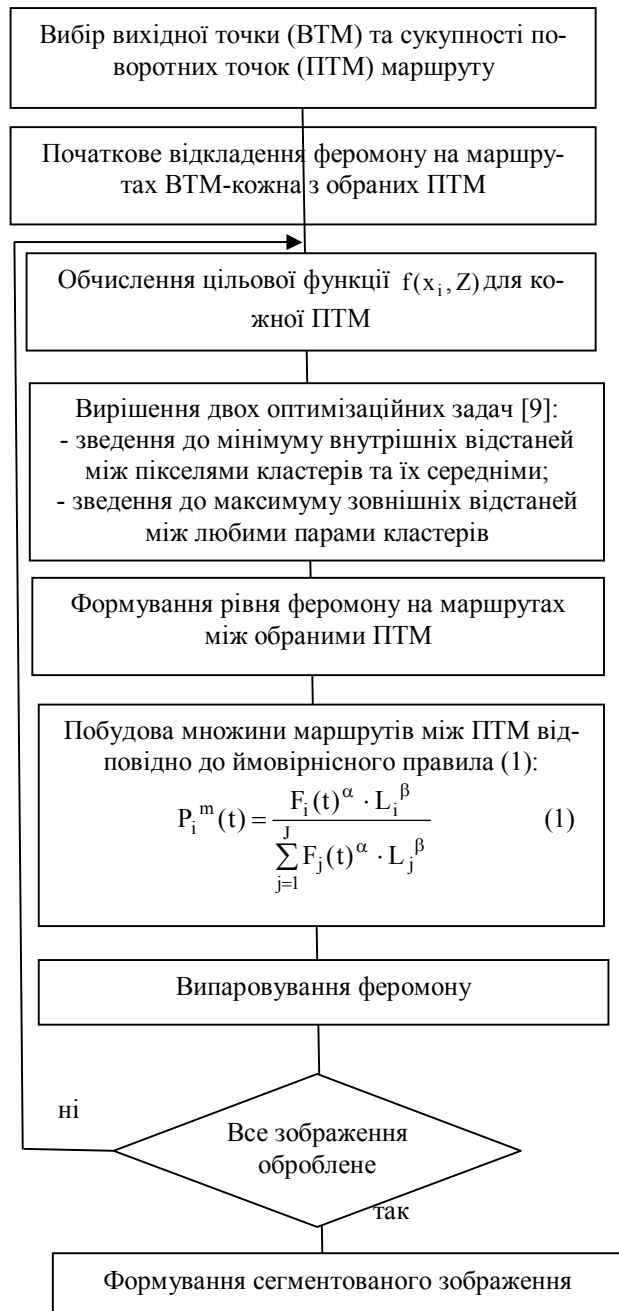


Рис. 1. Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів

На початковому етапі на всіх маршрутах (рис. 2) від ВТМ до кожної з обраних ПТМ відкладається невелика однакова кількість феромону.

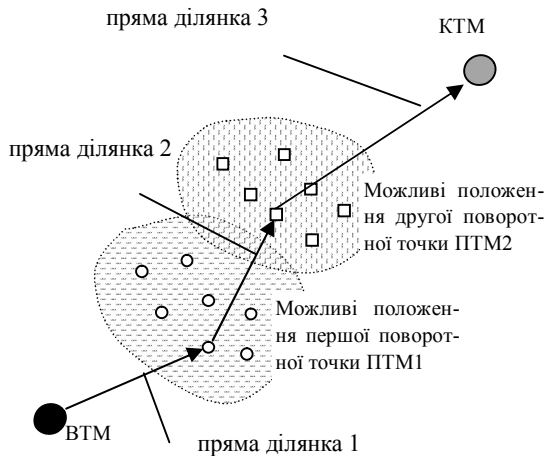


Рис. 2. ВТМ, КТМ, ПТМ та маршруту руху агента при сегментуванні зображення [7]

Так, наприклад, в роботі [8] початкова кількість феромону дорівнює 0,01. Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, використовує ітераційний процес. Кожна ітерація включає три етапи.

1. На першому етапі на кожному маршруті визначаються рішення і проводиться оцінка цього рішення (етап мурашиного методу). Самоорганізація системи при цьому забезпечується низькорівневою взаємодією мурах (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 вище концентрація феромону на маршруті, тим вища привабливість цього маршруту для наступних агентів. Розподіл феромону в навколишньому середовищі являється 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 знаходиться.

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.

2. На другому етапі кожної ітерації обчислюється цільова функція для кожної ПТМ та вирішуються

дві оптимізаційні задачі: зведення до мінімуму внутрішніх відстаней між пікселями кластерів та їх середніми та зведення до максимуму зовнішніх відстаней міжлюбими парами кластерів (етап ройового методу). В роботі [8] цільова функція при вирішенні задачі кластеризації мультиспектрального знімку визначається виразом (2):

$$f(x_i, Z) = w_1 \bar{d}_{\max}(Z, x_i) + w_2 (z_{\max} - d_{\min}(x_i)), \quad (2)$$

де  $z_{\max}$  – максимальне значення яркості пікселя на зображенні;

$Z$  – матриця належності пікселів 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 (3):

$$\bar{d}_{\max}(Z, x_i) = \max_{j=1 \dots N_c} \left\{ \sum_{z_p \in c_j} d(z_p, m_{ij}) / |c_{ij}| \right\}, \quad (3)$$

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

Мінімальна евклідова відстань між усіма парами кластерів визначається виразом (4):

$$d_{\min}(x_i) = \max_{j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{d(m_{j_1}, m_{j_2})\}, \quad (4)$$

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

Цільова функція (2) забезпечує виконання двох оптимізаційних задач:

- зведення до мінімуму внутрішніх відстаней між пікселями кластерів та їх середніми  $\bar{d}_{\max}(Z, x_i)$ ;

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

3. На третьому етапі проводиться формування рівня феромону на маршрутах між обраними ПТМ відповідно до виразу (5):

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

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;

проводиться побудова множини маршрутів між ПТМ відповідно до ймовірнісного правила (1) (етап мурашиного методу);

- заключною операцією третього етапу є випаровування феромону з визначеною швидкістю  $\rho$  (етап мурашиного методу).

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі викладено удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів.

Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів передбачає виконання функцій і мурашиного, і ройового методу.

Напрямами подальших досліджень є:

- формулювання критерію і оцінка ефективності удосконаленого еволюційного методу;
- проведення експериментального дослідження щодо сегментування оптико-електронного зображення удосконаленим еволюційним методом сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів;
- порівняння удосконаленого еволюційного методу сегментування з відомими методами сегментування оптико-електронних зображень.

## Список літератури

1. Wang Y. S. A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm. *Journal of Multimedia*. 2014. Vol. 9, № 4. P. 499–505.
2. Zhu S. J., Zhao J. Y., Guo L. J. Rival Penalized Image Segmentation. *Journal of Multimedia*. 2014. Vol. 9, № 5. P. 736–745.
3. Faroog M. Y., Raean M. S. Latest trends on image segmentation schemes. *International journal of advanced research in computer science and software engineering*. 2014. Vol. 4, № 10. P. 792–795.

4. Choudhary R., Gupta R. Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey. *International journal of advanced research in computer science and software engineering*. 2017. Vol. 7, № 4. P. 106–112.

5. Алімпієв А.М., Певцов Г.В. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. № 2 (27). 2017. С. 19–25.

6. 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.

7. Ruban I., Khudov H., Khudov V., Khizhnyak I., Makoveichuk O. Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 5/9 (89). P. 49–57.

8. Хижняк І.А. Сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, ройовим методом. *Системи озброєння та військова техніка. Науковий журнал*. 2017. № 2 (50). С. 140–143.

9. Лебедев В.Б., Лебедев О.Б. Роевой интеллект на основе интеграции моделей адаптивного поведения муравьиной и пчелиной колоний. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 7. С. 41–47.

Надійшла до редколегії 19.10.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО И РОЕВОГО МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО С БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

И.А. Хижняк

Проведено короткий анализ современных эволюционного и роевого методов сегментации изображения, полученного с бортовой системы оптико-электронного наблюдения. Для усиления достоинств и ослабления недостатков эволюционного (муравьиного) метода и роевого метода предложено усовершенствованный эволюционный метод сегментации оптико-электронного изображения, который основан на интегрировании муравьиного и роевого методов. Излагается сущность предлагаемого усовершенствованного метода сегментации.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, роевой метод, муравьиный метод, эволюционный метод, бортовая система, интегрирование.

## INTEGRATION OF THE ANT AND SWARM METHODS SEGMENTATION OF THE IMAGE RECEIVED FROM THE AIRBORNE OPTICAL-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEM

I.A. Khizhnyak

A short analysis of modern evolutionary and swarm methods of image segmentation, obtained from the on-board optical-electronic surveillance system, is carried out. To enhance the merits and mitigate the shortcomings of the evolutionary (ant) method and the swarm method, an improved evolutionary method for the segmentation of the optoelectronic image is proposed, which is based on integrating the ant and swarm methods. The essence of the proposed improved segmentation method is outlined.

**Keywords:** optical-electronic image, segmentation, swarm method, ant method, evolutionary method, airborne system, integration.