

І.А. Хижняк¹, О.М. Маковейчук², Р.Г. Худов³, В.О. Подліпаєв⁴, Г.В. Горбань⁵, Г.В. Худов¹

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

² Національний університет «Львівська політехніка», Львів

³ Харківський національний університет імені В.Каразіна, Харків

⁴ Військова частина А0515, Київ

⁵ Північно-Східне територіальне управління внутрішнього аудиту, Чернігів

МЕТОД РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ (ШТУЧНОЇ БДЖОЛИНОЇ КОЛОНІЇ (АВС)) ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Проведено аналіз недоліків відомих методів сегментування оптико-електронного зображення. Запропоновано для тематичного сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, використання ройового методу (методу штучної бджолоїної колонії). Проаналізовані основні види фітнес-функцій, що використовуються при АВС методі, та встановлена їх непридатність до тематичного сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження. Введена фітнес-функція, що враховує внутрішні дисперсії розподілу яскравості тематичних сегментів оптико-електронного зображення, сформульована оптимізаційна задача, що полягає в мінімізації фітнес-функції. Оптимізаційна задача вирішується методом ітераційних розрахунків. Наведено результат тематичного сегментування оптико-електронного зображення для випадку двох тематичних сегментів, на якому виділені можливі об'єкти інтересу – літаки, сховища з нафтою, споруди та інші.

Ключові слова: оптико-електронне зображення, тематичне сегментування, метод ройового інтелекту, АВС метод, бортова система, фітнес-функція.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних війнах високих технологій центр бойових дій перемістився у повітряний простір, а забезпечення бойових дій – у космічний простір [1, 2]. Використання інформації бортових систем розвідки і спостереження значною мірою дозволяє підвищити рівень оперативності та достовірності оцінки обстановки в реальному масштабі часу та ефективно застосовувати війська (сили) в цілому [3, 4].

Результат обробки та дешифрування оптико-електронних зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості сегментування зображення [5, 6].

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Відомим методам сегментування оптико-електронних зображень притаманні такі основні недоліки [7, 8]:

– 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 визначати критерії гомогенності сегментів.

Для вирішення різних завдань, що виникають при обробці зображень, в тому числі і для сегментування зображень, використовуються генетичні методи, наприклад [9, 10]. Генетичні методи застосовуються для вирішення оптимізаційних завдань комбінаторики, біоінформатики, теорії ігор, обробки і розпізнавання образів. З використанням генетич-

них методів ефективно проводиться сегментування медичних зображень [10].

Для вирішення завдання сегментування оптико-електронних зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження можуть бути використані ройові методи [11–13], до яких відносяться: метод рою частинок, мурашиний метод, метод штучної бджолоїної колонії (АВС (artificial bee colony)), штучна імунна система, метод капель води, метод зозулі, метод альтруїзму, метод гравітаційного пошуку. Ройові методи показали свою спроможність щодо сегментування оптико-електронних зображень при рішенні NP-повних комбінаторних задач у порівнянні з генетичними методами [13]. Порівняльна таблиця ройових методів (мурашиного та АВС методу) наведена в табл. 1 [12]. Сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження мурашиним методом розглянуто в роботах [6, 14]. В [6, 14] викладена сутність простішого мурашиного методу сегментування оптико-електронного зображення, проведено удосконалення простішого мурашиного методу сегментування зображення, проведена перевірка працездатності простішого та удосконаленого мурашиних методів сегментування на контрольному прикладі, проведені експериментальні дослідження щодо сегментування мурашиним методом зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, проведена оцінка якості сегментування оптико-електронного зображення шляхом оцінки комплексних показників та відстані Кульбака-Лейбнера.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця мурашиного методу та ABC-методу

Параметр порівняння	Мурашиний метод	Метод штучної бджолоїної колонії
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> – ефективний для TSP (Traveling Salesman Problem) з невеликою кількістю вузлів; – використовується у додатках, що можуть адаптуватися до змін; – завдяки пам'яті всієї колонії та випадковому вибору шляху не залежить від невдалих початкових рішень. 	<ul style="list-style-type: none"> – можливість ефективного розділення на паралельні процеси; – висока швидкість роботи.
Використання	<ul style="list-style-type: none"> – розрахунки комп'ютерних та телекомунікаційних систем; – задачі комівояжера; – задачі розкраски графа; – задачі оптимізації мережевого трафіку. 	<ul style="list-style-type: none"> – оптимізація управління; – оптимізація класифікаторів.
Розвиток	<ul style="list-style-type: none"> – гібридизація з генетичними методами; – використання бази нечітких правил. 	<ul style="list-style-type: none"> – зниження залежності від встановлених параметрів; – об'єднання з генетичними методами.

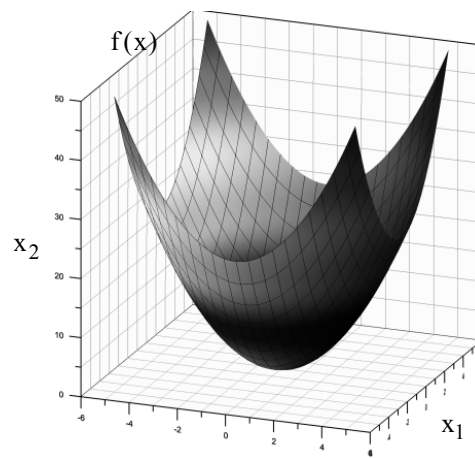
У відомих роботах [15–17], де використовується ABC метод, у якості фітнес-функції найчастіше використовуються наступні функції.

1. Функція сфери:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad (1)$$

де x_i – координати пікселів на зображенні; n - мірність простору.

Глобальний та єдиний мінімум функції сфери $f(x) = 0$ розташований у точці $x_i = 0$ для $i = (1..n)$. Вигляд функції сфери для $n = 1$ наведений на рис. 1. Вигляд функції сфери та лінії рівня для $n = 2$ показані на рис. 2.



а

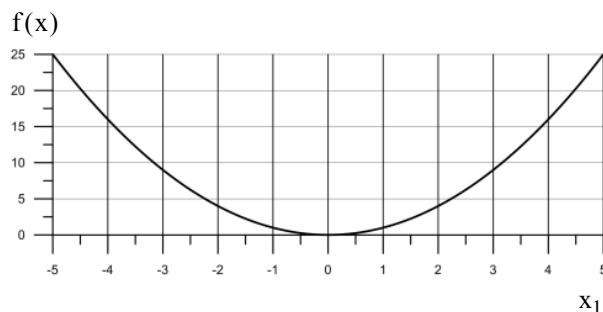
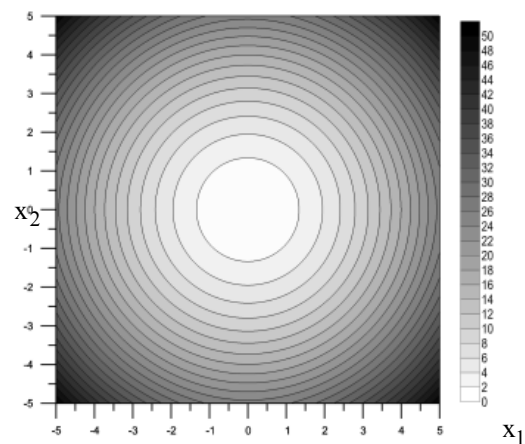


Рис. 1. Вигляд функції сфери для $n = 1$



б

Рис. 2. Вигляд функції сфери (а) та лінії рівня (б) для $n = 2$

2. Функція Расстригіна (выраз (2)):

$$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)]. \quad (2)$$

Мінімум функції Расстригіна $f(x) = 0$ розташований на інтервалі $(5,12 \leq x_i \leq 5,12)$ для $i = (1..n)$.

Вигляд функції Расстригіна для $n = 1$ наведений на рис. 3. Вигляд функції Расстригіна та лінії рівня для $n = 2$ показані на рис. 4.

3. Функція Швевфеля (выраз (3)):

$$f(x) = \sum_{i=1}^n [-x_i \sin(\sqrt{|x_i|})]. \quad (3)$$

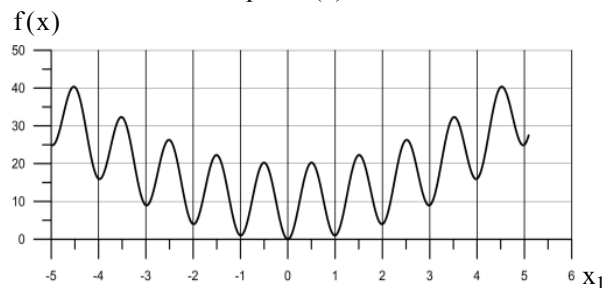


Рис. 3. Вигляд функції Расстригіна для $n = 1$

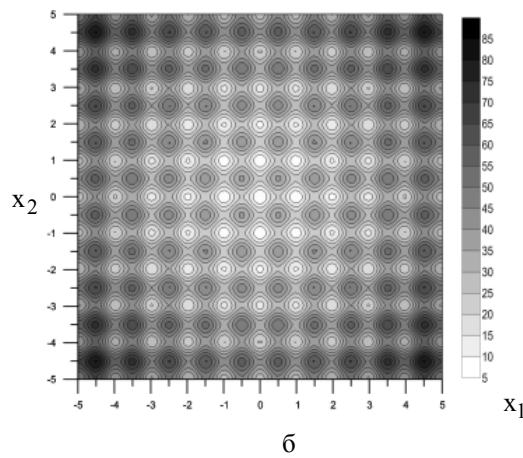
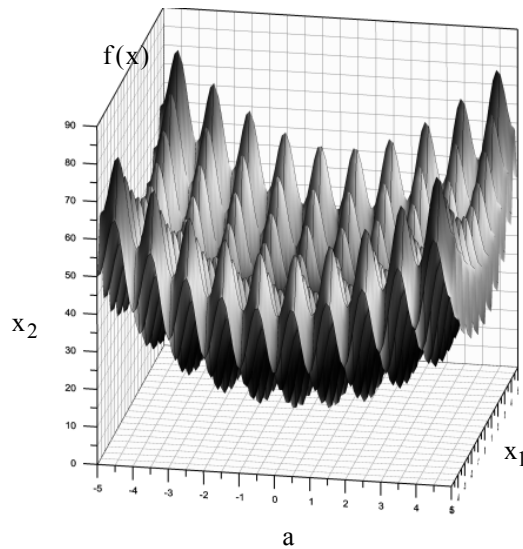


Рис. 4. Вигляд функції Расстригіна (а) та лінії рівня (б) для $n = 2$

Мінімум функції Швевфеля $f(x) = -418,9829n$ розташований на інтервалі $(500 \leq x_i \leq 500)$ для $i = (1..n)$. Вигляд функції Швевфеля для $n=1$ наведений на рис. 5.

Вигляд функції Швевфеля та лінії рівня для $n = 2$ показані на рис. 6.

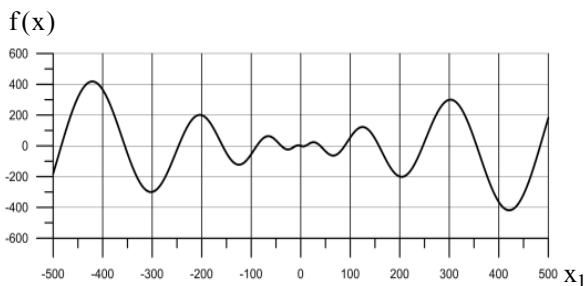


Рис. 5. Вигляд функції Швевфеля для $n = 1$

Наведені вище фітнес-функції не враховують особливості формування зображення, що отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження, та не можуть бути використані при тематичному сегментуванні таких зображень.

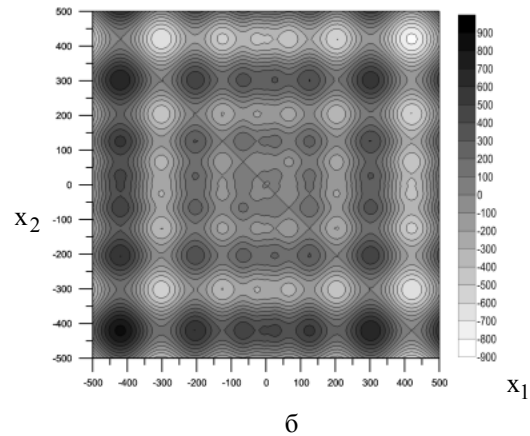
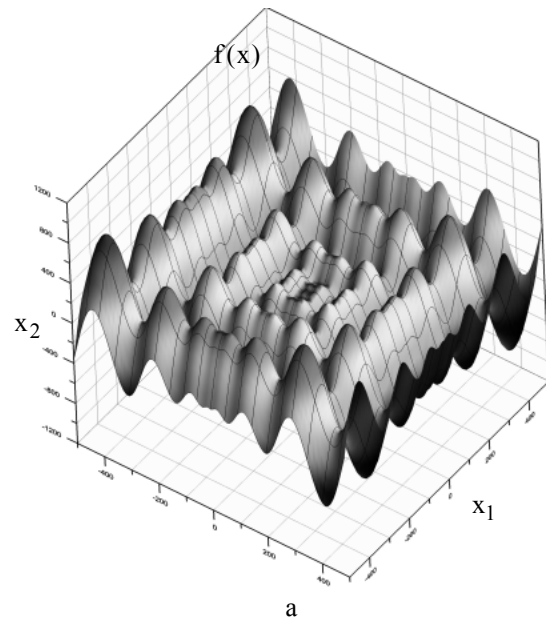


Рис. 6. Вигляд функції Швевфеля (а) та лінії рівня (б) для $n = 2$

Мета статті – розробити метод ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії (ABC)) тематичного сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

У якості вихідного будемо розглядати зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження (рис. 7 [18]).

Зображення представлено в RGB моделі кольорового простору. Побудуємо гістограми розподілу яскравості по кожному каналу яскравості. Такі гістограми наведені на рис. 8–10 і представляють залежність яскравості U від кількості пікселів N для каналів R, G, B відповідно.

З аналізу наведені на рис. 7–9 гістограм видно, що є певні проблеми з вибором порога тематичного сегментування зображення (рис. 7). Тому у якості фітнес-функції будемо використовувати таку функцію:

$$f(x) = 1 / \sum_{j=1}^K D_j, \quad (4)$$



Рис. 7. Вихідне зображення [18]

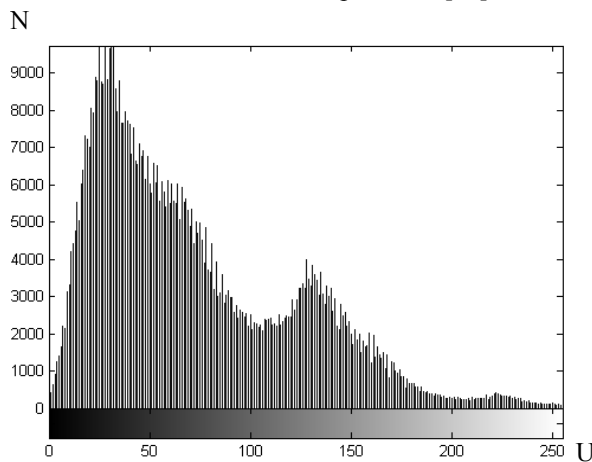


Рис. 7. Гістограма розподілу яскравості для каналу Red

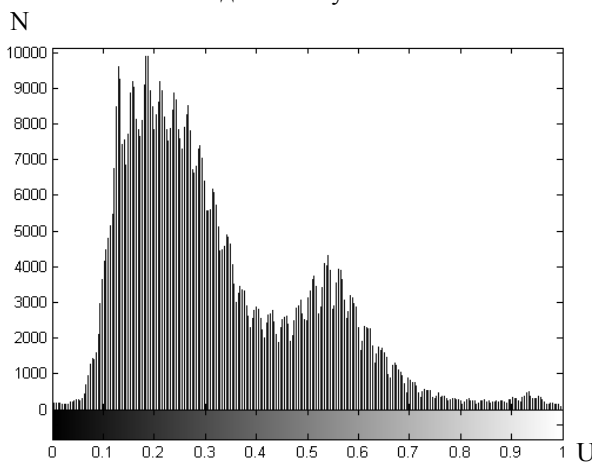


Рис. 8. Гістограма розподілу яскравості для каналу Green

де K – кількість тематичних сегментів на зображенні; D_j – внутрішня дисперсія j -го тематичного сегменту, що розраховується як

$$D_j = \frac{1}{N_j - 1} \sum_{i=1}^{N_j} |U_i - \bar{U}_j|^2, \quad (5)$$

де U_i – яскравість i -го пікселя; N_j – кількість пікселів в j -му тематичному сегменті; \bar{U}_j – математич-

не сподівання яскравості пікселів в j -му тематичному сегменті:

$$\bar{U}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} U_i. \quad (6)$$

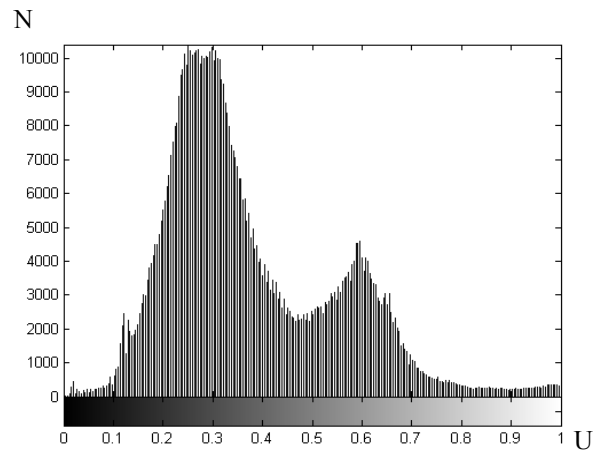


Рис. 9. Гістограма розподілу яскравості для каналу Blue

Таким чином, оптимізаційна задача тематичного сегментування оптико-електронного зображення ABC методом полягає у мінімізації фітнес-функції (4). Задача вирішується методом ітераційних розрахунків за методикою, що викладена в роботах [13, 19]. Розрахунки проводилися з використанням мови програмування високого рівня та інтерактивного середовища для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів MATLAB R2017b. Приклади ітераційного процесу на ітераційних етапах наведені на рис. 10–13. На рис. 10–13 показано розташування локальних та глобального мінімумів фітнес-функції (4). Результат тематичного сегментування вихідного зображення (рис. 7) для випадку двох тематичних сегментів наведений на рис. 14.

З аналізу результатів сегментування (рис. 14) шляхом візуальної оцінки якості видно, що вдалося провести тематичне сегментування зображення, що отримане з бортової системи оптико-електронного спостереження.

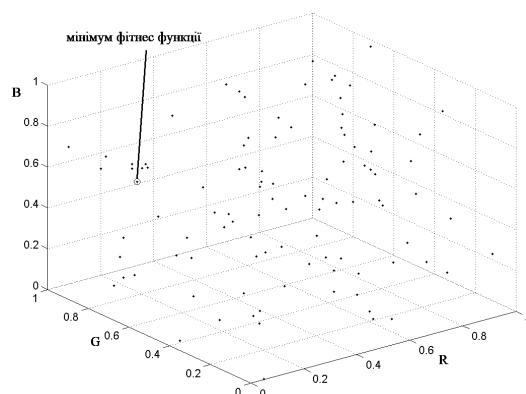


Рис. 10. Ітераційний процес ABC методу на першому ітераційному етапі

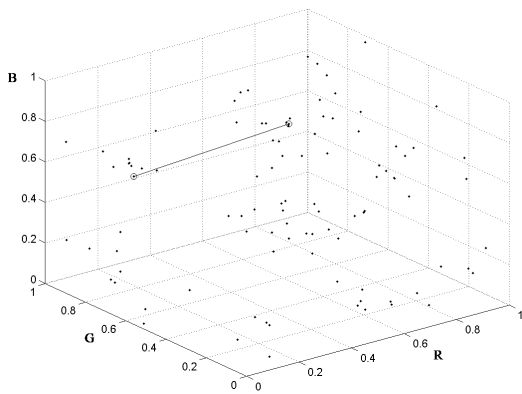


Рис. 11. Ітераційний процес ABC методу на п'ятому ітераційному етапі

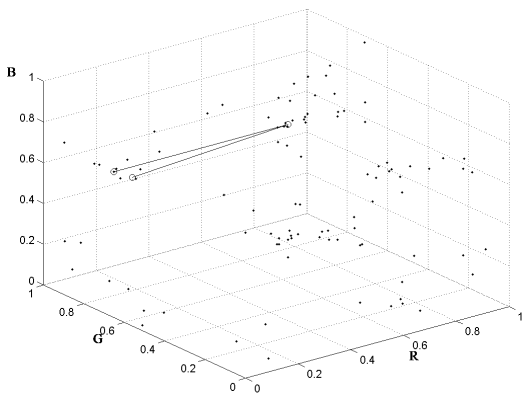


Рис. 12. Ітераційний процес ABC методу на десятому ітераційному етапі

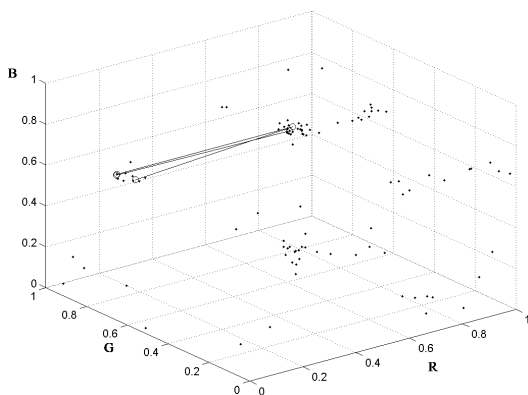


Рис. 13. Ітераційний процес ABC методу на двадцятому ітераційному етапі

На зображенні (рис. 14) виділені можливі об'єкти інтересу – літаки, сховища з нафтою, споруди та інші.

Висновки і напрями подальших досліджень

Таким чином, в роботі:

- проаналізовано основні недоліки відомих методів сегментування оптико-електронного зображення;
- для тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, запропоновано використання ройового методу (методу штучної бджолиної колонії);

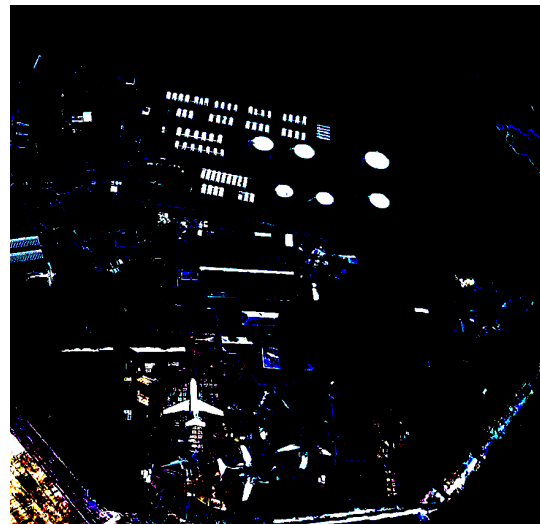


Рис. 14. Результат тематичного сегментування вихідного зображення (рис. 7) для випадку двох тематичних сегментів ABC методом

– проаналізовані основні види фітнес-функцій, що використовуються при ABC методі, та встановлена їх непридатність до тематичного сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження;

– введена фітнес-функція, що враховує внутрішні дисперсії розподілу яскравості тематичних сегментів оптико-електронного зображення;

– сформульована оптимізаційна задача, що полягає в мінімізації фітнес-функції. Оптимізаційна задача вирішується методом ітераційних розрахунків;

– наведено результат тематичного сегментування оптико-електронного зображення для випадку двох тематичних сегментів, на якому виділені можливі об'єкти інтересу – літаки, сховища з нафтою, споруди та інші.

Напрямок подальших досліджень є порівняння результатів тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, ABC методом з іншими відомими методами тематичного сегментування.

Список літератури

1. Горбулін В.П. Світова гібридна війна: український фронт: монографія / В.П. Горбулін. – Київ: НІСД, 2017. – 496 с.
2. Ярош С.П. Аналіз ведення бойових дій, тактики застосування ЗПН і використання нових інформаційних технологій у ході воєнного конфлікту в Лівії в 2011 році / С.П. Ярош // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2011. – № 2. – С. 19–25.
3. Меньшаков Ю.К. Техническая разведка из космоса / Ю.К. Меньшаков. – Москва: Academia, 2013. – 656 с.
4. Ким Н.В. Алгоритм управления группой беспилотных летательных аппаратов / Н.В. Ким, И.Г. Крылов // Робототехника и техническая кибернетика, 2014. – № 4. – С. 40–43.
5. Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-

електронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // Системи обробки інформації, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77–80.

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

7. Farooque M.Y. Latest trends on image segmentation schemes / M.Y. Farooque, M.S. Raean // International journal of advanced research in computer science and software engineering, 2014. – Vol. 4, № 10. – P. 792–795.

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

9. Badiger S. Medical imaging techniques in clinical medicine / S. Badiger, P.T. Akkasaligar // International journal of medical, health, pharmaceutical and biomedical engineering, 2014. – Vol. 8, № 11. – P. 797–800.

10. Махно Т.А. Автоматизированная система обработки ультразвуковых изображений сонных артерий на основе эволюционных алгоритмов / Т.А.Махно // Электротехнические и компьютерные системы, 2015. – № 18(94). – С. 92–99.

11. Эль-Хатиб С.А. Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального роя частиц / С.А. Эль-Хатиб // Информатика и кибернетика, 2015. – № 1. – С. 126–133.

12. Водолазский И.А. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации / И.А. Водолазский, А.С. Егоров, А.В. Краснов // Молодой ученый, 2017. – № 4 (138). – С. 147–153.

13. Хижняк І.А. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим методом /

І.А. Хижняк, О.М. Маковейчук, В.Г. Худов, І.В. Рубан, Г.В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку, 2018 – Вип. 1 (47). – С. 146–152.

14. Худов В.Г. Оцінка якості сегментування оптико-електронного зображення шляхом оцінки комплексних показників та відстані Кульбака-Лейбнера / В.Г. Худов, О.М. Маковейчук, І.А. Хижняк // Системи обробки інформації, 2017. – Вип. 4 (150). – С. 27–30.

15. Kennedy J. Particle Swarm Optimization / J. Kennedy, R. Eberhart // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, 1995. – Vol. IV. – P. 1942–1948.

16. Yigitbasi E.D. Edge detection using artificial bee colony algorithm (ABC) / E.D. Yigitbasi, N.A. Baykan // International Journal of Information and Electronics Engineering, 2013. – Vol. 3. – № 6. – P. 634–638.

17. Kong X. An improved artificial bee colony algorithm and its application / X. Kong, S. Liu, Z. Wang // International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2013. – Vol. 6. – № 6. – P. 259–274.

18. IKONOS Satellite Images Gallery, Satellite Map [Electronic resource] / Satellite Imaging Corporation. – Access mode: URL: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos> – 20.01.2017 year.

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

Надійшла до редколегії 31.03.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

МЕТОД РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИСКУССТВЕННОЙ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ (АВС)) ТЕМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

І.А. Хижняк, А.Н. Маковейчук, Р.Г. Худов, Г.В. Худов, В.А. Подліпаєв, Г.В. Горбань

Проведен анализ недостатков известных методов сегментации оптико-электронного изображения. Предложено для тематической сегментации изображения, полученного с бортовой аппаратуры оптико-электронного наблюдения, использование роевого метода (метода искусственной пчелиной колонии). Проанализированы основные виды фитнес-функций, которые используются при АВС методе, та установлена их непригодность к тематической сегментации изображения, полученного с бортовой аппаратуры оптико-электронного наблюдения. Введена фитнес-функция, которая учитывает дисперсии распределения яркости тематических сегментов оптико-электронного изображения, сформулирована оптимизационная задача, которая состоит в минимизации фитнес-функции. Оптимизационная задача решается методом итерационных расчетов. Приведен результат тематической сегментации оптико-электронного изображения для случая двух тематических сегментов, на котором выделены возможные объекты интереса – самолеты, хранилища с нефтью, сооружения и другие.

Ключевые слова: оптико-электронное изображение, тематическая сегментация, метод роевого интеллекта, АВС метод, бортовая система, фитнес-функция.

METHOD OF ROUTINE INTELLIGENCE (ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC)) OF THE THEMATIC SEGMENTATION OF THE OPTICAL-ELECTRONIC IMAGE

I.A. Khizhnyak, A.N. Makoveychuk, R.G. Khudov, H.V. Khudov, V.A. Podlipaev, H.V. Horban

An analysis is made of the shortcomings of the known methods for segmentation of an optical-electronic image. It was proposed for the thematic segmentation of the image, obtained from on-board optical-electronic observation equipment, the use of the swarm method (artificial bee colony method). The main types of fitness functions that are used in the ABC method are analyzed. Their inappropriateness to the thematic segmentation of the image obtained from on-board optical-electronic surveillance equipment was established. A fitness function has been introduced that takes into account the dispersion of the brightness distribution of the thematic segments of the optical-electronic image. The optimization problem is formulated. The optimization problem consists in minimizing the fitness function. The optimization problem is solved by the iterative calculation method. The result of thematic segmentation of the optical-electronic image is presented for the case of two thematic segments. The possible objects of interest are identified - airplanes, oil tanks, structures and others.

Keywords: optic-electronic image, thematic segmentation, , method of swarm intelligence, ABC method, on-board system, fitness function.