

Г.В. Худов<sup>1</sup>, О.М. Маковейчук<sup>2</sup>, І.А. Хижняк<sup>1</sup>, Ю.С. Соломоненко<sup>1</sup>, Р.Г. Худов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

<sup>3</sup> Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків

## ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ МЕТОДУ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В статті проаналізовано відомі методи тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, в тому числі, нейромережеві, їх основні недоліки. Під тематичним сегментуванням розуміється сегментування, виділення ознак об'єктів інтересу та семантичне сегментування. Результатом тематичного сегментування є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон). Запропоновано метод тематичного сегментування оптико-електронних зображень, в основу якого покладений метод штучної бджолиної колонії. Встановлено, що важливим етапом методу є вибір цільової функції. Сформульовано вимоги до цільової функції, розглянуто модельні зображення у випадку, коли об'єкт та фон на зображенні розділяються та не розділяються. Встановлено, що у якості цільової функції доцільно обирати функцію, що має фізичний смисл суми дисперсії сегментів сегментованого зображення. В загальному вигляді сформульовано оптимізаційна задача вибору порогу тематичного сегментування оптико-електронного зображення, яка полягає у мінімізації цільової функції на кожній ітерації ітераційного процесу визначення порогового рівня.

**Ключові слова:** метод сегментування, ройовий метод, штучна бджолина колонія, оптико-електронне зображення, цільова функція, бортова система спостереження, поріг сегментування, ітераційний процес, об'єкт інтересу, фон.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід ведення сучасних мережецентричних, гібридних війн, останніх збройних конфліктів, антитерористичної операції (АТО) та операції Об'єднаних сил (ООС) на території Донецької та Луганської областей України свідчить про те, що базовим інформаційним джерелом є дані, що отримуються за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та космічних апаратів (КА) оптико-електронного спостереження (ОЕС) [1–2]. Етапом, що визначає якість та ефективність дешифрування оптико-електронних зображень (ОЕЗ), і в цілому їх обробки, є тематичне сегментування ОЕЗ, що включає етапи сегментування, виділення ознак об'єктів інтересу та семантичного сегментування. Етап семантичного сегментування відноситься до етапу розпізнавання об'єктів інтересу, покладається на оператора-дешифрувальника та виходить за межі роботи. Результатом тематичного сегментування ОЕЗ є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон).

У теперішній час тематичне сегментування ОЕЗ або взагалі не розглядається, або його розгляд обмежується відомими методами сегментування, які не достатньо відповідають сучасним вимогам до якості сегментування ОЕЗ. До основних недоліків відомих методів сегментування зображень відносяться: неправильне сегментування, коли контури

розподілу не співпадають з границями об'єктів інтересу; пересегментування, коли має місце значна кількість дрібних сегментів, що породжує "сміттєві" об'єкти; недосегментування, коли має місце пропуск потенційно можливих сегментів; більшість методів не визначають границь об'єктів та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів; сегментування здійснюється лише за критерієм рівня яскравості точки зображення, що не дозволяє визначати критерії гомогенності сегментів. Отже, актуальним є розробка методів тематичного сегментування зображень бортових систем ОЕС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В теперішній час для сегментування зображень використовуються генетичні методи, які, в основному, застосовуються для сегментування медичних зображень [3].

Для сегментування медичних зображень також використовуються еволюційні методи [3–5]. Відомі еволюційні методи сегментування медичних зображень [3–5] не можуть бути використані для сегментування ОЕЗ бортових систем ОЕС. 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 [6] проведені теоретичні та експериментальні дослідження в області розробки та впровадження

методів тематичної обробки аерокосмічних зображень земної поверхні на основі багаторівневих методів сегментування. Однак, в [6] вирішуються завдання сегментування на радіолокаційних зображеннях лише рослинного покриву та ґрунту Землі по даним дистанційного моніторингу.

В [7] розроблено ефективні, з точки зору проведення обчислювальних процедур, непараметричні методи кластеризації та методи спектрально-текстурного сегментування супутникових зображень високого просторового розрізнення, які відносяться до відомих методів сегментування, враховують особливість формування супутникового зображення та направлені на сегментування крупних ландшафтів (ліс, поле, водна поверхня і т.ін.).

В [8] розроблено методи сегментування об'єктів земної поверхні по даним гіперспектрального знімання з використанням методів штучного інтелекту: кластеризації на основі нечітких множин, штучних нейронних мереж та генетичних методів. Новизна роботи [8] полягає у гібридизації відомих методів штучного інтелекту та застосування їх для сегментування зображення, що отримано в результаті гіперспектрального знімання. Основними недоліками застосування нейромережових методів є:

- необхідність участі оператора та проведення попередньої обробки ОЕЗ;

- різні початкові умови отримання ОЕЗ приводять до різних кінцевих результатів сегментування;

- навчання нейронної мережі реалізується на основі випадкового вибору, підсумкові вагові коефіцієнти для вихідних нейронів залежать від вихідної послідовності;

- завершення процесу навчання не засновано на строгих оптимізаційних математичних моделях.

Нейромережові методи можуть бути використані у якості складової частини комплексної системи сегментування складноструктурованих ОЕЗ.

В [9] розроблено методи сегментування зображень з застосуванням біонічних моделей. В роботі висунута гіпотеза про те, що найбільш доцільним способом для ефективного рішення задачі сегментування складноструктурованих зображень є математичні перетворення, що відображають колективну поведінку децентралізованої самоорганізованої системи, що складається з множини агентів, що локально взаємодіють між собою та з зовнішнім середовищем для досягнення визначеної мети. В [9] отримано біоінспірований мурашиний метод сегментування зображень та гіперевристичний ройовий метод сегментування зображень. В основу отриманих методів покладено відомий метод кластерного аналізу k-means, який використовується для обчислення центру кожного сегменту [9]. В роботі [9] у якості зображень для підтвердження результатів дослі-

дження використані медичні зображення головного мозку та відомі зображення Tiger та Lenna. Використання методів [9] до сегментування зображень бортових систем ОЕС неможливо, так не враховується структура та особливості отримання зображення з бортових систем ОЕС. До того ж метод k-means сегментування зображень має певні недоліки:

- результати в значній мірі залежать від початкових параметрів методу та специфіки ОЕЗ;

- результат сегментування досягається в результаті проведення багатократних ітерацій методу, що в певній мірі ускладнює процес обробки в реальному масштабі часу.

В технології комп'ютерного дешифрування даних дистанційного зондування Землі використовуються спеціалізовані програмні засоби, такі як ERDAS IMAGINE, TNTmips, ER Mapper, ENVI, GRASS, INTERGRAPH, Arc View, ScanViewer, IMAGE Transformer, MODIS Processor, IRS Processor, ScanMagic, SCANEX NERIS, LESSA та інші [10–14]. Аналіз роботи зазначених спеціалізованих програмних засобів показав, що в деяких з них завдання тематичного сегментування взагалі не вирішуються, в інших використовуються відомі методи сегментування.

В роботі [15] для сегментування ОЕЗ бортових систем ОЕС запропоновано метод штучної бджолоїної колонії. У якості параметру, що оптимізується, в [15] обрано поріг сегментування, а оптимізація полягає у мінімізації цільової функції. Однак в [15] не наведено обґрунтування вибору цільової функції та не досліджено її вигляд.

**Мета статті** – обґрунтувати вибір цільової функції методу тематичного сегментування зображень бортових систем ОЕС.

## Виклад основного матеріалу

Метод тематичного сегментування ОЕЗ [15] у загальному вигляді може бути представлений рис. 1. На рис. 1 використані наступні позначення:

- $f(\mathbf{X})$  – вихідне ОЕЗ;
- $\mathbf{X}=(x,y)$  – вектор положень агентів;
- $|S|$  – кількість агентів;
- $n^s$  – кількість агентів-розвідників;
- $n^b$  – кількість кращих позицій;
- $n^g$  – кількість перспективних позицій;
- $c^b$  – кількість агентів, що відправляються (мігрують) до кращих позицій;
- $c^g$  – кількість агентів, що відправляються (мігрують) до перспективних позицій;
- $\text{rad}$  – коефіцієнт, що визначає розсіяння агентів при відправленні на кращі та перспективні позиції;
- $g_x, g_y$  – розсіяння місцеположення агентів по осям від кращої чи перспективної позиції.

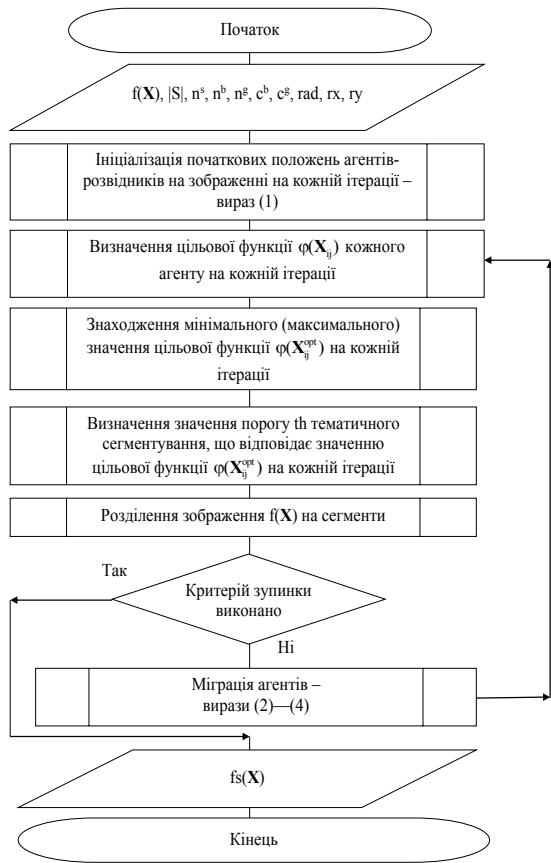


Рис. 1. Загальна схема методу тематичного сегментування ОЕЗ бортових систем ОЕС

$$X_{i1} = \text{rand}(f(X)), \quad (1)$$

де  $X_{i1}(x_{i1}, y_{i1})$  – вектор положень агентів на першій ітерації;

$\text{rand}(f(X))$  – генератор випадкових чисел;  
 $i=1, 2, \dots, n^s$ .

$$X_{(i-1)c^b+kj} = N_{ij-1}^b + \text{Rnd} \cdot \text{rad}, \quad (2)$$

де  $X_{(i-1)c^b+kj}$  – вектор положень робочих агентів, що відправляються на кращі позиції, на  $j$ -й ітерації;

$N_{ij-1}^b$  – краща позиція  $i$ -го агента на  $(j-1)$ -ій ітерації;  
 $i=1, 2, \dots, n^b, k=1, 2, \dots, c^b$ ;  
 $\text{Rnd}$  – випадкове число.

$$X_{n^b c^b + (i-1)c^b + kj} = N_{ij-1}^g + \text{Rnd} \cdot \text{rad}, \quad (3)$$

де  $X_{n^b c^b + (i-1)c^b + kj}$  – вектор положень робочих агентів, що відправляються на перспективні позиції, на  $j$ -й ітерації;

$N_{ij}^g$  – перспективна позиція  $i$ -го агента на  $j$ -й ітерації;

$i=1, 2, \dots, n^g, k=1, 2, \dots, c^g$ .

$$X_{n^b c^b + n^g c^g + ij} = \text{rand}(f(X)), \quad (4)$$

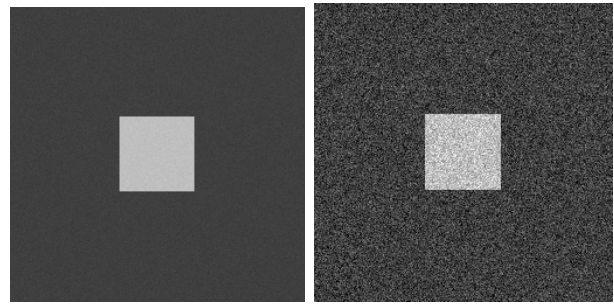
де  $X_{n^b c^b + n^g c^g + ij}$  – координати позицій агентів-розвідників на  $j$ -ій ітерації;

$i=1, 2, \dots, n^s$ .

Для визначення оптимального значення порогу  $th$  сформулюємо основні вимоги до цільової функції  $\phi(X_{ij})$ :

- задоволення умові адекватності задачі, що вирішується;
- не повинна бути занадто "гострою" (проблема "вузького горла");
- використання мінімуму обчислювального ресурсу;
- мінімум кількості локальних оптимумів.

Для обґрунтування вибору цільової функції методу тематичного сегментування розглянемо модельні зображення у випадку, коли об'єкт (внутрішній квадрат) та фон розділяються та не розділяються (рис. 2).



а

б

Рис. 2. Модельні зображення об'єкту та фону:

а – об'єкт та фон розділяються;

б – об'єкт та фон не розділяються

При цьому враховано наступне: розмір фону значно перевищує розміри об'єкту, яскравості пікселів об'єкту та фону розподілені по нормальному закону з параметрами (рис. 3):

– математичне очікування: для об'єкту  $\mu_1 = 0,75$ ; для фону  $\mu_2 = 0,25$ ;

– середньоквадратичне відхилення: для об'єкту та фону  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,01$  (об'єкт та фон розділяються),  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,1$  (об'єкт та фон не розділяються).

Тематичне сегментування модельного зображення полягає у визначенні оптимального значення порогу  $th$ , що буде розділяти об'єкт від фону. Припустимо, що таке значення порогу знайдено. Тоді, для випадку, коли об'єкт та фон розділяються (рис. 2, а) проведемо бінаризацію зображення та розглянемо залежність значення дисперсії інтенсивності підпорогових  $D_1(th)$  та надпорогових  $D_2(th)$  пікселів як функції від порогу  $th$ .

Для граничних значень порогу  $D_1(th=0)=0$ ,  $D_2(th=0)=D_0$ ,  $D_1(th=1)=D_0$ ,  $D_2(th=1)=0$ , де  $D_0$  – дисперсія модельного зображення (рис. 2, а).

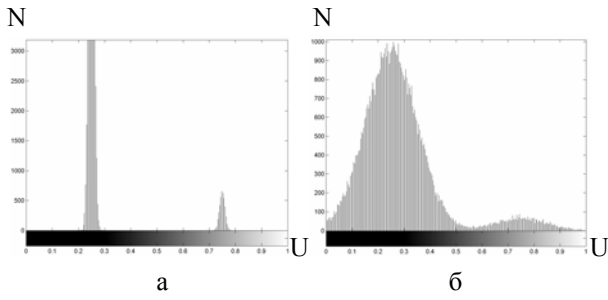


Рис. 3. Гістограми розподілу яскравості модельних зображень: а – об’єкт та фон розділяються; б – об’єкт та фон не розділяються

Для визначення виразу для дисперсії модельного зображення  $D_0$  проведемо розрахунки для математичного очікування модельного зображення за виразом (5):

$$\mu = \frac{\tilde{s}_1 \mu_1^2 + \tilde{s}_2 \mu_2^2}{\tilde{s}_1 + \tilde{s}_2}, \quad (5)$$

де  $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2$  – площини (кількість пікселів) об’єкту і фону, відповідно, на модельному зображенні (рис. 2, а).

Значення  $D_0$  можна легко визначити – вираз (6):

$$D_0 = \frac{\tilde{s}_1 \mu_1^2 + \tilde{s}_2 \mu_2^2}{\tilde{s}_1 + \tilde{s}_2} - \mu^2. \quad (6)$$

При умові, що розподіли інтенсивності пікселів об’єкту та фону не перекриваються (рис. 2, а), повинно виконуватися умова (7):

$$(\mu_1 - 3\sigma_1) > (\mu_2 + 3\sigma_2). \quad (7)$$

Тоді,

$$D_1((\mu_2 + 3\sigma_2) < th < (\mu_1 - 3\sigma_1)) = \sigma_2^2, \quad (8)$$

$$D_2((\mu_2 + 3\sigma_2) < th < (\mu_1 - 3\sigma_1)) = \sigma_1^2. \quad (9)$$

Розглянемо функцію  $D(th) = D_1(th) + D_2(th)$ , що має фізичний смисл суми дисперсії інтенсивності підпорогових та надпорогових пікселів. Маємо:

$$D(th=0) = D(th=1) = D_0, \quad (10)$$

$$D((\mu_2 + 3\sigma_2) < th < (\mu_1 - 3\sigma_1)) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 < D_0, \quad (11)$$

тобто в інтервалі значень порогу  $th$ , де об’єкт відділяється від фону,  $D(th) = \min$ .

На рис. 4 зображено вигляд функції  $D(th)$  для модельного зображення рис. 2, а, коли об’єкт і фон розділяються. У випадку, коли об’єкт та фон не розділяються (рис. 2, б) кількісний аналіз є більш складним і в роботі не наведений. Тим не менш, якісний вигляд функції  $D(th)$  не змінюється та наведений на рис. 5. Таким чином, при використанні методу тематичного сегментування, в основу якого покладений метод штучної бджолиної колонії, у якості цільової функції доцільно обирати функцію  $D(th)$ , що має фізичний смисл суми дисперсії сегментів сегментованого зображення.

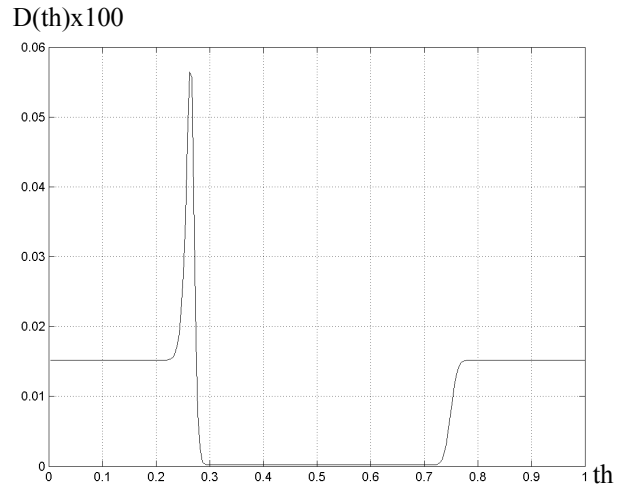


Рис. 4. Вигляд функції  $D(th) = D_1(th) + D_2(th)$  для модельного зображення рис. 2, а

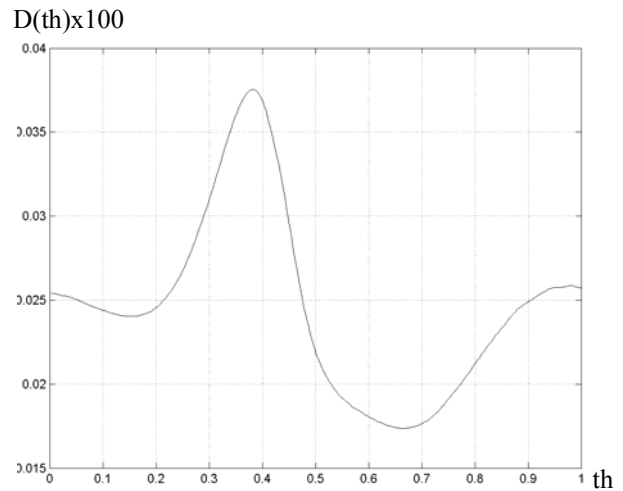


Рис. 5. Вигляд функції  $D(th) = D_1(th) + D_2(th)$  для модельного зображення рис. 2, б

В загальному вигляді оптимізаційна задача вибору порогу тематичного сегментування ОЕЗ на кожній  $j$ -й ітерації представлена виразами (12–18) та полягає у мінімізації цільової функції (12) на кожній  $j$ -й ітерації з урахуванням визначень і обмежень (13–18).

$$D(th) = \sum_{j=1}^K D_j(th) \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$D_j(th) = \frac{1}{N_{1j} - 1} \sum_{k=1}^{N_{1j}} |U_{kj} - \mu_j|^2 \quad \text{для } U_{kj} > th; \quad (13)$$

$$D_j(th) = \frac{1}{N_{0j} - 1} \sum_{k=1}^{N_{0j}} |U_{kj} - \mu_j|^2 \quad \text{для } U_{kj} \leq th; \quad (14)$$

$$\mu_j = \frac{1}{N_{1j}} \sum_{k=1}^{N_{1j}} U_{kj} \quad \text{для } U_{kj} > th; \quad (15)$$

$$\mu_j = \frac{1}{N_{0j}} \sum_{k=1}^{N_{0j}} U_{kj} \quad \text{для } U_{kj} \leq th; \quad (16)$$

$$D_j(th) \geq 0; \quad (17)$$

$$0 \leq th \leq U_{max}, \quad (18)$$

де  $K$  – кількість сегментів;

$N_{0j}$  – кількість пікселів в  $j$ -му сегменті, яскравість яких менше або дорівнює значенню порогового рівня  $th$ ;

$N_{1j}$  – кількість пікселів в  $j$ -му сегменті, яскравість яких більше значення порогового рівня  $th$ ;

$U_{kj}$  – яскравість  $k$ -го пікселя в  $j$ -му сегменті;

$\mu_j$  – математичне очікування яскравості в  $j$ -му сегменті;

$U_{max}$  – максимальне значення яскравості пікселів на зображенні.

## Висновки

1. Встановлено, що тематичне сегментування ОЕЗ включає етапи сегментування, виділення ознак об'єктів інтересу та семантичне сегментування. Результатом тематичного сегментування ОЕЗ є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон).

2. До основних недоліків відомих методів сегментування зображень відносяться: неправильне сегментування, коли контури розподілу не співпадають з границями об'єктів інтересу; пересегментування, коли має місце значна кількість дрібних сегментів, що породжує "сміттєві" об'єкти; недосегментування, коли має місце пропуск потенційно можливих сегментів; більшість методів не визначають границь об'єктів та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів; сегментування

здійснюється лише за критерієм рівня яскравості точки зображення, що не дозволяє визначити критерії гомогенності сегментів.

3. У якості методу тематичного сегментування ОЕЗ обрано метод штучної бджолоїної колонії, складовою частиною якого є визначення цільової функції.

4. Основними вимогами до цільової функції є:  
– задоволення умові адекватності задачі, що вирішується;

– не повинна бути занадто "гострою" (проблема "вузького горла");

– використання мінімуму обчислювального ресурсу;

– мінімум кількості локальних оптимумів.

5. Для обґрунтування вибору цільової функції методу тематичного сегментування розглянуто модельні зображення у випадку, коли об'єкт та фон розділяються та не розділяються.

6. Встановлено, що при використанні методу тематичного сегментування, в основу якого покладений метод штучної бджолоїної колонії, у якості цільової функції доцільно обирати функцію, що має фізичний зміст суми дисперсії сегментів сегментованого зображення.

7. Сформульовано оптимізаційна задача вибору порогу тематичного сегментування ОЕЗ, яка полягає у мінімізації цільової функції на кожній ітерації ітераційного процесу.

## Список літератури

1. Лаврінчук О.В. Аналіз технології дешифрування космічних знімків / О.В. Лаврінчук, С.В. Гринюк, М.Ю. Ракушев // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2017. – № 3(30). – С. 45-49.
2. Самойленко О.В. Перспективи розвитку наземних комплексів приймання та цифрової обробки матеріалів повітряної розвідки Збройних Сил України / О.В. Самойленко, С.О. Пономаренко, М.О. Ладик // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2016. – № 12(19). – С. 115-120.
3. 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.
4. Farooq M.Y. Latest trends on image segmentation schemes / M.Y. Farooq, M.S. Raean // International journal of advanced research in computer science and software engineering. – 2014. – Vol. 4, No. 10. – P. 792-795.
5. 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, No. 4. – P. 106-112.
6. Sarmah S. A grid-density based technique for finding clusters in satellite image / S. Sarmah, D.K. Bhattacharyya // Pattern Recognition Letters. – 2012. – Vol. 33, No. 5. – P. 589-604.
7. Hu X. Automatic segmentation of high-resolution satellite imagery by integrating texture, intensity, and color features / X. Hu, C.V. Tao, B. Prenzel // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2005. – Vol. 71, No. 12. – P. 1399-1406.
8. Wang A. Segmentation of multispectral high-resolution satellite imagery based on integrated feature distributions / A. Wang, S. Wang, A. Lucieer // International Journal of Remote Sensing. – 2010. – Vol. 31, No. 6. – P. 1471-1483.
9. Wuest B. Region Based Segmentation of Quickbird Imagery Through Fuzzy Integration / B. Wuest, Y. Zhang // Proc. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS), 2008. – Vol. 37, part B7. – P. 491-496.
10. OpenCV library [Electronic resource]. – URL: <https://opencv.org>.
11. Передовые технологии в обработке ДДЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mapinfo.ru/product/erdas>.

12. Пакет ArcView. Система ArcInfo [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://geoknigi.com/book\\_view.php?id=629](http://geoknigi.com/book_view.php?id=629).
13. Scanex – лидер в сфере спутникового мониторинга [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://scanex.ru>.
14. TNTmips [Electronic resource]. – URL: <http://www.microimages.com/products/tntmips.htm>.
15. Метод ройового інтелекту (штучної бджолиної колонії (АВС)) тематичного сегментування оптико-електронного зображення / І.А. Хижняк, О.М. Маковейчук, Р.Г. Худов, В.О. Подліпаєв, Г.В. Горбань, Г.В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – № 2 (48). – С. 91-96.

## References

1. Lavrinchuk, O.V., Gryniuk, S.V. and Rakushev, M.Yu. (2017), “Analiz tekhnolohiyi deshyfruvannya kosmichnykh znimkiv” [Analysis of the technology of decoding of space images], *Modern information technologies in the field of security and defense*, No. 3(30), pp. 45-49.
2. Samoilenko, O.V., Ponomarenko, S.O. and Ladyk, M.O. (2016), “Perspektivu rozvitku nazemnykh kompleksiv priymannia ta cifrovoi obrobki materialiv povitryanoi rozvidki Zbroynikh Syl Ukrainy” [Prospects for the development of terrestrial systems for the reception and digital processing of aerial intelligence materials of the Armed Forces of Ukraine], *Collection of scientific works of the State Scientific Research Institute of Aviation*, No. 12(19), pp. 115-120.
3. Makhno, T.A. (2015), “Avtomatizirovannaya sistema obrabotki ul'trazvukovykh izobrazheniy sonnykh arteriy na osnove evolyutsionnykh algoritmov” [Automated system for processing ultrasound images of the carotid arteries based on evolutionary algorithms], *Electrotechnical and Computer Systems*, No. 18(94), pp. 92-99.
4. Faroogue, M.Y. and Raean, M.S. (2014), Latest trends on image segmentation schemes, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 4, No. 10, pp. 792-795.
5. Choudhary, R. and Gupta, R. (2017), Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 106-112.
6. Sarmah, S. and Bhattacharyya, D.K. (2012), A grid-density based technique for finding clusters in satellite image, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 33, No. 5, pp. 589-604.
7. Hu, X., Tao, C.V. and Prenzel, B. (2005), Automatic segmentation of high-resolution satellite imagery by integrating texture, intensity, and color features, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 12, pp. 1399-1406.
8. Wang, A., Wang, S. and Lucieer, A. (2010), Segmentation of multispectral high-resolution satellite imagery based on integrated feature distributions, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 6, pp. 1471-1483.
9. Wuest, B. and Zhang, Y. (2008), Region Based Segmentation of Quickbird Imagery Through Fuzzy Integration, *Proc. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS)*, Vol. 37, part B7, pp. 491-496.
10. *OpenCV library*, available at: <https://opencv.org> (accessed 15 September 2018).
11. *Advanced technology in the processing of remote sensing* [Electronic resource], available at: [www.mapinfo.ru/product/erdas](http://www.mapinfo.ru/product/erdas) (accessed 01 October 2018).
12. *Package ArcView. System ArcInfo*, available at: [geoknigi.com/book\\_view.php?id=629](http://geoknigi.com/book_view.php?id=629) (accessed 07 October 2018).
13. *Scanex – the leader in satellite monitoring*, available at: [www.scanex.ru](http://www.scanex.ru) (accessed 11 October 2018).
14. *TNTmips*, available at: [www.microimages.com/products/tntmips.htm](http://www.microimages.com/products/tntmips.htm) (accessed 12 October 2018).
15. Khizhnyak, I.A., Makoveichuk, A.M., Khudov, R.G., Podlipaev, V.O., Gorban, G.V. and Khudov, H.V. (2018), “Metod royoivoho intelektu (shtuchnoyi bdzholynoyi koloniyi (AVS)) tematychnoho sehmentuvannya optyko-elektronnoho zobrazhennya” [Swarm Method (artificial bee colony (ABC)) thematic segmentation of optoelectronic image], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 2 (48), pp. 91-96.

Надійшла до редколегії 5.10.2018

Схвалена до друку 5.11.2018

### Відомості про авторів:

**Худов Геннадій Володимирович**  
доктор технічних наук професор  
начальник кафедри Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

**Маковейчук Олександр Миколайович**  
кандидат технічних наук  
докторант Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

### Information about the authors:

**Hennadii Khudov**  
Doctor of Technical Sciences Professor  
Head of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

**Oleksandr Makoveichuk**  
PhD  
Doctoral Student of Department  
of Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

**Хижняк Ірина Анатоліївна**

начальник групи навчально-лабораторного комплексу  
кафедри Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

**Irina Khizhnyak**

Head of Group of Educational-Laboratory Complex  
of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

**Соломоненко Юрій Станіславович**

заступник начальника факультету  
з навчальної та наукової роботи  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6503-7475>

**Yuriy Solomonenko**

Deputy Head of the Faculty f  
or Academic and Scientific Work  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6503-7475>

**Худов Ростислав Геннадійович**

студент  
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6209-209X>

**Rostislav Khudov**

Student of Karazin Kharkiv National University,  
Kharkiv, Ukraine,  
<https://orcid.org/0000-0002-6209-209X>

### ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ МЕТОДА ТЕМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Г.В. Худов, А.Н. Маковейчук, И.А. Хижняк, Ю.С. Соломоненко, Р.Г. Худов

*В статье проанализированы известные методы тематической сегментации изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения, в том числе, нейросетевые, их основные недостатки. Под тематической сегментацией понимается сегментация, выделение признаков объектов интереса и семантическая сегментация. Результатом тематической сегментации является разделение изображения на искусственные объекты (объекты интереса) и природные объекты (фон). Предложен метод тематической сегментации оптико-электронных изображений, в основу которого положен метод искусственной пчелиной колонии. Установлено, что важным этапом метода есть выбор целевой функции. Сформулированы требования к целевой функции, рассмотрены модельные изображения для случаев, когда объект и фон на изображении разделяются и не разделяются. Установлено, что в качестве целевой функции целесообразно выбирать функцию, которая имеет физический смысл суммы дисперсий сегментов сегментированного изображения. В общем случае сформулирована оптимизационная задача выбора порога тематической сегментации, которая заключается в минимизации целевой функции на каждой итерации итерационного процесса определения порогового уровня.*

**Ключевые слова:** метод сегментации, роевой метод, искусственная пчелиная колония, оптико-электронное изображение, целевая функция, бортовая система наблюдения, порог сегментации, итерационный процесс, объект интереса, фон.

### FITNESS FUNCTION OF THE METHOD OF IMAGES THEMATIC SEGMENTATION OF ONBOARD OPTICAL-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEMS

H. Khudov, A. Makoveychuk, I. Khizhnyak, Yu. Solomonenko, R. Khudov

*The article analyzes the known methods of images thematic segmentation of onboard systems of optical-electronic observation, including neural network, their main drawbacks. Thematic segmentation is understood as segmentation, feature extraction of objects of interest and semantic segmentation. The result of thematic segmentation is the separation of the image into artificial objects (objects of interest) and natural objects (background). A method is proposed for thematic segmentation of optoelectronic images based on the artificial bee colony method. It has been established that the choice of the fitness function is an important stage of the method. The requirements for the fitness function are formulated, the model images for the cases when the object and the background in the image are separated and not separated are considered. It has been established that as a fitness function it is advisable to choose a function that has the physical meaning of the sum of the variances of the segments of the segmented image. In the general case, an optimization problem is formulated for selecting the thematic segmentation threshold, which is to minimize the fitness function at each iteration of the iterative process of determining the threshold level.*

**Keywords:** segmentation method, swarm method, artificial bee colony, optic-electronic image, fitness function, on-board observation system, segmentation threshold, iterative process, iterative process, object of interest, background.