

УДК 536.532; 621.396

В.Г. Худов

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

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

*Встановлюється, що основна складність при сегментуванні зображення – врахування різних додаткових факторів, таких як: різномірний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів. У зв'язку з цим, 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 мультиагентного методу сегментування оптико-електронних зображень, визначений оптимальний рух агентів при сегментуванні оптико-електронного зображення.*

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, сегментування, метод, агент, рух, поворотна точка, феромон, ділянка, вихідна точка маршруту.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** В теперішній час результат обробки зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості методу сегментування зображення [1-6]. Основна складність при сегментуванні зображення – врахування різних додаткових факторів: різномірний фон, варіабельність різних частин зображення, наявність шумів [5 – 7]. У зв'язку з цим, 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 мультиагентного методу 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 [5 – 9]. 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 [5]. Виділяють такі ознаки якісного сегментування [5]:

- 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 [5]:

- 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 [5, 10-12].

В останній час для сегментування зображення все частіше застосовуються методи штучного інтелекту, наприклад, генетичні методи [13-15]. 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 [15].

Для сегментування зображення також використовуються штучні нейронні мережі, які дають добрі результати, але при цьому необхідно обов'язково мати оптимальне налаштування параметрів мереж [16].

При сегментуванні зображення часто використовується метод k-середніх, який засновано на міні-

мізації середньоквадратичної помилки [16]. 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 [16]. В роботі [16] розглянута модифікація методу сегментування k-середніх з використанням методу мурашиних колоній.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

В роботі для сегментування зображення будемо розглядати нові методи, які відносяться до еволюційних методів та засновані на моделюванні соціальної поведінки живих істот – роеві методи (PSO – particle swarm optimization) та мурашині методи (AS – ant system). Указані методи сегментування зображення в роботі названо мультиагентні методи. Більш детально розглянемо мурашиний метод сегментування зображення. В роботі мураха будемо називати агентом.

Мультиагентний метод (ММ) спочатку використовувався для пошуку найкоротшого шляху в графах [17], подальші дослідження [18 – 22] призвели до появи багаточисельних модифікацій методу та продемонстрували його універсальність для вирішення широкого кола оптимізаційних задач. Однією з важливих переваг методу являється його висока ефективність при оптимізації розподілених нестационарних систем [23]. При змінах досліджуваної системи метод швидко адаптується до цих змін і знаходить нове оптимальне рішення. Названі вище, а також інші переваги методу (такі, як, наприклад, швидкодія) роблять актуальним проведення дослідження стосовно можливості застосування мурашиного алгоритму та його різновидів для сегментування оптико-електронного зображення.

В найпростішому випадку сегментування зображення можна представити як сукупність наступних 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 агенту. У подальшому вважаємо, що положення ВТМ, КТМ та поворотних точок маршруту повністю визначає маршрут руху агенту.

Рух по кожній з ділянок маршруту, а також здійснення повороту в вибраних ПТМ, має певні небезпеки та вимагає певних витрат ресурсів, що призводить до наявності 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. В [24] наведені підходи щодо застосування для пошуку раціонального маршруту методом динамічного програмування, проте цей метод не забезпечує достатньої швидкодії та не працює у нестационарних системах. Продемонструємо, як прокласти маршрут руху з використанням простішого ММ (AS методу).

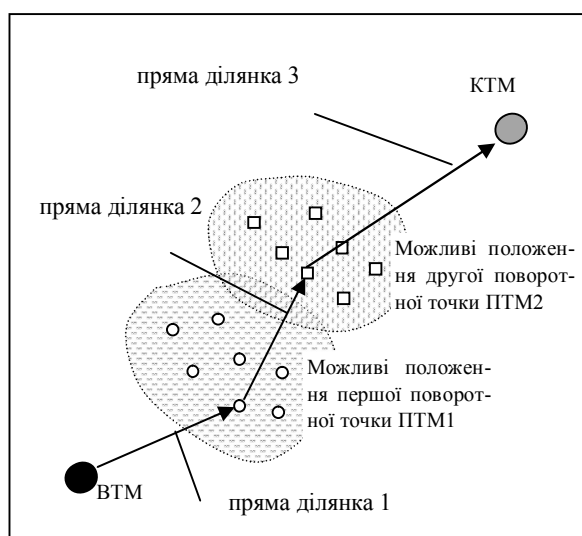


Рис. 1. Приклад представлення маршруту руху агенту на зображенні при сегментуванні зображення

ММ, використаний в даному дослідженні, оснований на імітації природного механізму пошуку найкоротшого шляху до джерела їжі колонією мурах (агентів) [21]. 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 вище концентрація феромону на маршруті, тим вище 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.

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

В простішому ММ 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  $t$  наступним чином:

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

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

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

$$L_i = \frac{1}{D_i}, \quad (2)$$

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:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (3)$$

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 ММ для сегментування зображення: рис. 2, а – після проведення 100 ітерацій, рис. 2, б – після проведення 300 ітерацій. Більш кращі маршрути позначені більш жирними лініями. Колами відмічені ділянки зображення, де необхідно змінити маршрут руху агентів (їх фізичний зміст необхідно визначити у подальших дослідженнях).

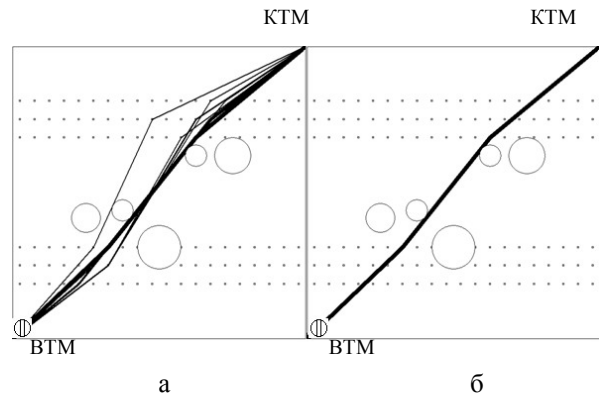


Рис. 2. Результати використання ММ для сегментування зображення: а – після 100 ітерацій; б – після 300 ітерацій

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).

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі теоретично запропоновано використання ММ для проведення сегментування зображення. У подальших дослідженнях необхідно провести сегментування реального оптико-електронного зображення з використанням ММ.

## Список літератури

1. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UAVS) / Башинский В.Г., Бзот В.Б., Жилин Е.И. и др. / Монография. – Запорожье: изд. АО «МоторСич», 2014. – 261 с.
2. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография. – К.: Румб, 2008. – 160 с.
3. Радецький В.Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі: монографія / В.Г. Радецький, І.С. Руснак, Ю.Г. Даник. – К.: НАОУ, 2008. – 224 с.
4. Даник Ю.Г. Застосування космічних і спеціальних сил та засобів в інтересах національної безпеки та оборони держави / Ю.Г. Даник, Р.В. Храцевський. – К.: НАОУ, 2008. – 380 с.
5. Барталев С.А. Анализ возможностей применения методов сегментации спутниковых изображений для выявления изменений в лесах / С.А. Барталев, Т.С. Ховратович // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8. - № 1. – С. 44-62.

6. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05 / Смеляков Кирилл Сергеевич – Харьков, 2005. – 162 с.

7. Методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида, особенности их применения и перспективы развития / К.С. Смеляков, И.А. Романенко, И.В. Рубан, Н.И. Кириллова, О.В. Шитова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2010. – Вып. 2 (24). – С. 92-97.

8. 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 01.08.2016).

9. Самойленко Д.Е. Структурная сегментация изображений / Д.Е. Самойленко // Штучний інтелект, 2004. – № 4. – С. 521-528.

10. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений / С.А. Барталев, В.А. Егоров, А.М. Крылов, Ф.В. Стыценко, Т.С. Ховратович // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. – Т. 7. – № 3. – С. 215-225.

11. Златопольский А.А. Выделение на изображении однородных участков с неполными границами / А.А. Златопольский // Исследование Земли из космоса, 1985. – № 1. – С. 94-102.

12. Левашкина А.О. Исследование супервизорных критериев оценки качества сегментации изображений А.О. Левашкина, С.В. Поршнев // Известия Томского политехнического ун-та, 2008. – Т. 313. – № 5. – С. 28-33.

13. Буриев К.Х. Разработка генетического алгоритма и прикладных программ для фрактального сжатия изображений: дис. ... академич. степень магистра: 5A330601 / Буриев Комилжон Хуррамович – Ташкент: Ташкентский университет инф. технологий, 2015. – 90 с.

14. 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.

15. Худов В.Г. Генетичні алгоритми для сегментування зображень систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, О.М. Маковейчук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2016. — № 2. — С. 142-145.

16. Эль-Хатиб С.А., Сегментации изображений методом муравьиных колоний // С.А. Эль-Хатиб, А.И. Эль-Хатиб, Ю.А. Скобцов // Вестник Херсонского национального технического ун-та, 2013. – № 1 (46). – С. 204-211.

17. M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 29–41, 1996.

18. T. Stutzle and H. H. Hoos, "MAX-MIN Ant System," *Future Generation Computer Systems*, vol. 16, no. 8, pp. 889–914, 2000.

19. M. Dorigo, K. Socha. *An Introduction to Ant Colony Optimization. Technical Report TR/IRIDIA/2006-010, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles*, 2006.

20. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4. – С.70–75.

21. Нейтеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С.О. Суботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

22. Худов Г.В. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – X: XV ПС, 2015. – Вып. 3(43). – С.179–185.

23. Caro G. D., Dorigo M. *Anet: a Mobile Agents Approach to Adaptive Routing. Technical Report IRIDA 97-12, IRIDA—Universite Libre de Bruxelles. – Brussels, Belgium, 1997. – 27 p.*

24. Таран І.А. Методика визначення оптимальної траєкторії польоту засобу повітряного нападу до об'єкту удару/ І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – X: XV ПС, 2015. – Вып. 2(42). – С.44–48.

Надійшла до редколегії 12.07.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

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

В.Г. Худов

Устанавливается, что основная сложность при сегментации изображения – учет различного рода дополнительных факторов, таких как: разнородный фон, вариабельность разных частей изображения, наличие шумов. В связи с этим, при использовании известных методов сегментации изображения не всегда удается обеспечить стойкость методов сегментации к вариации различных параметров изображения (топологических, геометрических, фотометрических). Теоретически обоснована возможность использования мультиагентного метода сегментации оптико-электронных изображений, определен оптимальный путь агентов при сегментации оптико-электронного изображения.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, сегментация, метод, агент, движение, поворотная точка, феромон, участок, исходная точка маршрута.

## MULTIAGENT SEGMENTATION METHOD OF BOARD SYSTEMS OPTIC-ELECTRONIC OBSERVATIONS IMAGES

V.G. Hudov

It is established that the main difficulty with the image segmentation - keeping various kinds of additional factors, such as: diverse background, variability of different parts of the image, the presence of noise. Due to this s, using known methods of image segmentation is not always possible to provide resistance segmentation methods to the different variations of the image parameters (topological, geometric, photometric). Theoretically proved the possibility of using multi-agent method segmentation optoelectronic image, determined the optimal path segmentation agents in opto-electronic image.

**Keywords:** optic-electronic image, segmentation method, agent movement, a turning point, a pheromone, a portion of the route starting point.