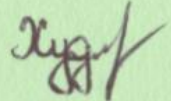


Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ХУДОВ ВЛАДИСЛАВ ГЕННАДІЙОВИЧ



УДК 004.932 (043.3)

**МЕТОДИ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ
З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО
СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ МУРАШИНИХ АЛГОРИТМІВ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Рубан Ігор Вікторович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, перший проректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Федорович Олег Євгенович,
Національний аерокосмічний університет імені
М.С.Жуковського "Харківський авіаційний
інститут", Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри інформаційних управляючих
систем;

доктор технічних наук, професор
Барабаш Олег Володимирович,
Державний університет телекомунікацій,
Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри вищої математики.

Захист відбудеться "02" липня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.08 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий "27" травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.П. Плісс

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На цей час інформаційні технології обробки даних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) використовуються у багатьох областях: моніторинг та оцінка стану зовнішнього середовища; сільське господарство; видобуток корисних копалин; спостереження за поновлюваними природними ресурсами; метеорологія; картографія; військова область: розвідка і рекогносцировка тощо. Основними засобами ведення спостереження в системах ДЗЗ є безпілотні літальні апарати (БПЛА) та космічні системи.

В сучасних умовах до інформації бортових систем оптико-електронного спостереження (ОЕС) висувуються жорсткі вимоги щодо достовірності, оперативності та якості. Одним з найбільш складних та важливих етапів обробки таких зображень є їх дешифрування. Основною операцією, від якості якої залежить результат дешифрування оптико-електронного зображення (ОЕЗ), є тематичне сегментування ОЕЗ. Тому, у дисертаційній роботі основна увага приділяється методам та інформаційним технологіям тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем спостереження. Під тематичним сегментуванням в роботі розуміється сегментування ОЕЗ, виділення ознак об'єктів інтересу та семантичне сегментування зображення. Етап семантичного сегментування відноситься до етапу розпізнавання об'єктів інтересу, покладається на оператора-дешифрувальника та виходить за межі дисертаційної роботи. Результатом тематичного сегментування ОЕЗ є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон).

Обробка ОЕЗ розглянута в фундаментальних роботах У.Претта, Д.Канні, Р.Бейтса та Мак-Доннела, В.А.Сойфера, Р.Гонсалеса та Р.Вудса, Л.П.Ярославського, А.А.Потапова та інших. Прикладні методи та інформаційні технології обробки зображень розглянуті в роботах С.О.Суботіна, Е.В.Аймана, Х.Янга, Д.С.Суру, Ю.А.Скобцова, Т.А.Махно, В.М.Курейчика, А.В.Пантелєєва, М.О.Попова, І.В.Рубана, В.В.Баранніка, К.С.Смелякова, В.П.Машталіра, С.В.Машталіра, Є.П.Путятіна, В.О.Гороховатського, С.І.Богучарського, О.М.Маковейчука, І.А.Хижняк та інших.

Завдання тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС у відомих роботах або взагалі не розглядаються, або обмежуються методами та інформаційними технологіями сегментування, які не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам щодо якості сегментування та не можуть бути напряду застосовані до тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС та мають такі недоліки: неправильне сегментування, коли контури розподілу не співпадають з границями об'єктів інтересу на зображенні; пересегментування, коли має місце значна кількість дрібних сегментів, що породжує "сміттєві" об'єкти; недосегментування, коли має місце пропуск потенційно можливих сегментів; проведення сегментування лише по критерію рівня яскравості точки зображення, що не дає можливості визначати критерії гомогенності сегментів; більшість методів не визначають границь об'єктів інтересу та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів інтересу.

При обробці зображень з бортових систем ОЕС загострилося протиріччя між можливостями відомих методів та інформаційних технологій тематичного

сегментування ОЕЗ і вимогами до якості тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Для розв'язання указанного протиріччя є доцільним розробка методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів, основними перевагами яких є можливість їх ефективного розділення на паралельні процеси, адаптація, висока швидкодія, оптимізація управління, незалежність від невдалих початкових рішень. Таким чином, наукове завдання розробки методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана відповідно до плану наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках держбюджетної НДР "Методи, системи і засоби криптографічного захисту інформації з гарантованим рівнем стійкості та підвищеною швидкістю" (№ ДР 0115U002431), господарсько-договірної НДР № 17-13 "Розробка моделей, механізмів, методів та засобів симетричного шифрування та гешування, методи оцінювання їх стійкості" шифр "Стійкість" (№ ДР 0118U003807), плану наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба в рамках держбюджетних НДР "Створення програмного модуля обробки різнорідних і різночасових даних, отриманих від оптико-електронних засобів безпілотних літальних апаратів та супутникових систем" шифр "Мозаїка-ПС" (№ ДР 0101U002020), "Дослідження можливостей прихованої передачі даних в інформаційній телекомунікаційній мережі" шифр "Стеганографія" (№ ДР 0101U00284).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості обробки зображень з бортових систем ОЕС шляхом застосування методів тематичного сегментування зображень на основі мурашиних алгоритмів.

Для досягнення мети дисертації необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз відомих методів та інформаційних технологій тематичного сегментування ОЕЗ;
- удосконалити метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС;
- розробити метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС;
- удосконалити прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС;
- провести порівняльну оцінку якості методів тематичного сегментування на основі мурашиних алгоритмів та відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС в умовах впливу спотворюючих факторів;
- реалізувати методи тематичного сегментування зображень в програмно-апаратних комплексах (ПАК) обробки ОЕЗ.

Об'єкт дослідження – процес тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

Предмет дослідження – методи тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

Методи дослідження. Дослідження базується на критичному аналізі відомих методів та інформаційних технологій тематичного сегментування ОЕЗ. При

розробці методу тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС, прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС використовувалися методи теорії ймовірності, математичної статистики, кластеризації даних, еволюційних обчислень, ройові методи, математичний апарат теорії матриць, методи диференційного числення, математичного моделювання, цифрової обробки зображень, математичної логіки, створення інформаційних технологій, теорії оптимізації; для оцінки якості методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС використовувалися методи цифрової обробки зображень, математичного моделювання, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму, у якому, на відміну від відомих, враховані особливості формування зображення, для тематичного сегментування застосовується мурашиний алгоритм, а сегментування зображення зведено до розрахунку цільової функції, сукупності ділянок руху агентів, концентрації феромону на маршрутах руху агентів, що підвищує якість обробки зображень.

2. Отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС, в якому, на відміну від відомих, тематичне сегментування зображень з різним значенням масштабу проводиться на основі мурашиного алгоритму, здійснюється перемасштабування сегментованих зображень з різним значенням масштабу до вихідного розміру та розраховується зображення-фільтр, а результуюче сегментоване зображення є попіксельним добутком вихідного зображення та зображення-фільтру, що знижує похибки першого та другого роду й підвищує інформаційні показники тематичного сегментування зображень.

3. Удосконалено прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, в якій, на відміну від відомих, передбачається визначення кількості та масштабності зображень, кольорового простору представлення зображень, виділення каналів яскравості кожного кольорового простору, застосування для тематичного сегментування зображень методів на основі мурашиних алгоритмів.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи підтверджено підвищенням якості обробки ОЕЗ з бортових систем ОЕС та полягає у розробці прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Результати дисертаційної роботи впроваджені та реалізовані: у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів, м. Київ (акт від 01.06.2018); в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління, м. Київ (акт від 28.02.2018); у спеціалізованому програмно-апаратному комплексі обробки інформації військової частини А0515, м. Київ (акт від 30.05.2018); у товаристві з обмеженою відповідальністю науково-виробничій фірмі "Адрон", м. Київ (акт від 31.07.2017); в ході дослідницьких навчань при сегментуванні складноструктурованих зображень у військовій частині А2183, м. Первомайськ (акт від 27.12.2017); в ході дослідних навчань при сегментуванні багатомасштабної послідовності

складноструктурованих зображень у військовій частині А4465, м. Миколаїв (акт від 29.03.2018); у Державному підприємстві "Центральне конструкторське бюро "Протон", м. Харків (акт від 28.12.2017).

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути використані: в науково-дослідних організаціях при обґрунтуванні тактико-технічних вимог до перспективних систем обробки зображень; в науково-виробничих організаціях промисловості при проектуванні та розробці нових систем і комплексів обробки зображень; в вищих навчальних закладах України, що займаються підготовкою фахівців з обробки зображень; при обробці зображень в перспективних бортових системах ОЕС, що розробляються в Україні, а саме: у наземному спеціальному комплексі при обробці ОЕЗ; у комплексі програмно-технічного управління геопросторовими даними при створенні, редагуванні, зберіганні та публікуванні централізованої бази векторних та растрових даних з можливістю використання різноманітних геоінформаційних сервісів, управління потоками геоінформаційних даних; на робочому місці інтерпретатора-дешифрувальника при розробці алгоритмів та спеціальних обчислювальних засобів.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати дисертаційної роботи сформульовані і отримані автором самостійно. Наукові праці [2]–[4], [19] опубліковані без співавторів. У роботах, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: [1] – виділені основні ознаки якісного сегментування, запропоновано використання генетичних алгоритмів та методу багатомасштабної обробки ОЕЗ; [5] – визначені недоліки відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, запропоновано удосконалення методу сегментування тонових ОЕЗ; [6] – проаналізовані методи сегментування, які не базуються на машинному навчанні, запропоновано використання ройових алгоритмів для сегментування ОЕЗ; [7] – сформульовані недоліки відомих показників якості сегментування ОЕЗ та зроблено висновок щодо необхідності формування оптимального набору показників якості тематичного сегментування зображення методом на основі мурашиних алгоритмів; [8] – визначені особливості формування зображень з бортових систем ОЕС, теоретично обґрунтована можливість використання ройових методів для сегментування ОЕЗ з бортової системи спостереження, визначена необхідність застосування цільової функції при використанні ройових методів; [9] – запропоновано при сегментуванні кольорових ОЕЗ перехід до кольорової моделі з явно вираженим каналом яскравості; [10] – удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів, який є складовою інформаційної технології тематичного сегментування, проведено сегментування зображення з бортової системи ОЕС удосконаленим методом та методом Канні, запропоновано для оцінки якості методу тематичного сегментування використовувати інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейблера; [11] – визначені комплексні показники оцінки малих ("сміттєвих") областей на зображенні та проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейблера сегментованого зображення при зміні масштабу вихідного зображення; [12] – запропоновано у якості ядра багатомасштабного перетворення використовувати гаусіан з відповідним значенням масштабного коефіцієнта,

проведені експериментальні дослідження щодо сегментування ОЕЗ з різним значенням масштабу; [13] – для порівняльного аналізу удосконаленого методу тематичного сегментування з відомими методами проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейблера тематичного сегментування ОЕЗ методом Канні та наведена її залежність від масштабного коефіцієнта вихідного зображення; [14] – удосконалена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, проведено сегментування зображення з бортової системи ОЕС; [15] – удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, розраховані параметри, що задають вагу феромона і привабливість ділянки, проведені експериментальні дослідження щодо сегментування зображення з бортової системи ОЕС; [16] – удосконалено метод тематичного сегментування ОЕЗ, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового алгоритмів, проведено сегментування ОЕЗ в умовах впливу адитивного білого гаусового шуму (АБГШ), проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейлера в залежності від інтенсивності шуму для удосконаленого методу та методу Канні; [17] – при сегментуванні кольорового зображення запропоновано виділяти канали яскравості, проводити сегментування у кожному каналі яскравості та здійснювати зворотній перехід до кольорової моделі Red-Green-Blue (RGB); [18] – проведені експериментальні дослідження щодо тематичного сегментування ОЕЗ з різним значенням масштабу удосконаленим методом багатомасштабної обробки; [20] – запропоновано метод багатомасштабної обробки зображень з різним значенням масштабу з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів, проведено розрахунок зображення-фільтру.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи апробовані на 21 науковій конференції: 1-й Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі "ПНПЗК-2016" (м. Харків–Київ–Кіровоград–Вінниця–Софія–Баку–Бельсько-Бяла, 2016 р.); 13-й та 14-й наукових конференціях "Новітні технології – для захисту повітряного простору" (м. Харків, 2017–2018 рр.); 7-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" (м. Полтава–Баку–Кропивницький–Харків, 2017 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ" (м. Львів, 2017–2018 рр.); VII Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій" (м. Запоріжжя, 2016 р.); 4-й Всеукраїнській конференції "Спільні дії військових формувань та правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи" (м. Одеса, 2017 р.); III Всеукраїнській науково-технічній конференції "Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування" (м. Тернопіль, 2017 р.); XXXIV Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку" (м. Переяслав-Хмельницький, 2017 р.); 6-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні системи і технології ИСТ-2017", присвяченій 80-річчю В. В. Свірідова (м. Коблево–Харків, 2017 р.); науково-практичній конференції

"Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи" (м. Київ, 2017 р.); 4-й та 5-й Міжнародних науково-практичних конференціях "Problems of infocommunications science and technology (PICT S&T 2017, PICT S&T 2018)" (м. Харків, 2017–2018 рр.); V Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки" (м. Київ, 2017 р.); X Всеукраїнській науково-практичній конференції "Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України" (м. Хмельницький, 2017 р.); 5-й Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми інформатизації" (м. Черкаси–Баку–Бельсько–Бяла–Полтава, 2017 р.); науково-практичній конференції "Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності" (м. Львів, 2017 р.); XXII Всеукраїнській науково-практичній конференції "Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції" (м. Житомир, 2018 р.); 8-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" (м. Полтава–Баку–Харків–Жиліна, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "The development of technical sciences: problems and solutions" (м. Брно, 2018 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 41 науковій роботі, серед яких 1 колективна монографія (розділ), 19 наукових статей, з них 4 наукові статті написані без співавторів (18 наукових статей у фахових наукових періодичних виданнях України з технічних наук, що індексуються міжнародними бібліометричними і наукометричними базами даних: Scopus, Cross Ref, EBSCO, Scientific Indexed Service, Index Copernicus, Academic Resource Index, Google Scholar, Open Academic Journals Index, General Impact Factor, Scholar Steer, Ulrich's Periodicals Directory, Directory Indexing of International Research Journals, Bielefeld Academic Search Engine, WorldCat, DOAJ, ResearchBib, Polska Bibliografia Naukowa, 1 стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні), 21 теза доповідей у матеріалах наукових конференцій, в тому числі 12 тез на міжнародних конференціях, 2 з яких індексуються міжнародними наукометричними базами IEEE Xplore та Scopus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел і додатки. Загальний обсяг дисертації складає 331 сторінку, у тому числі 149 сторінок основного тексту, 7 сторінок займають титульний аркуш, зміст, перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів, 2 анотації на 24 сторінках, 84 рисунки та 13 таблиць, з них 49 рисунків та 3 таблиці повністю займають площу на 44 сторінках, список використаних джерел з 250 найменувань на 30 сторінках, 3 додатки на 77 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подається загальна характеристика дисертації. Обґрунтовується вибір теми дослідження, шляхом критичного аналізу висвітлюється зв'язок теми дисертації із сучасними дослідженнями по тематичному сегментуванню ОЕЗ, визначається сутність наукового завдання. Наведено зв'язок роботи з науковими

програмами, планами, темами, та вказано, в рамках яких програм, тематичних планів, наукових тематик виконувалася дисертаційна робота, зазначені номери державної реєстрації НДР і найменування організації, де виконувалася робота, сформульовано мету і завдання дослідження, окреслені об'єкт, предмет дослідження, перераховуються використані наукові методи дослідження та змістовно відзначається, що саме досліджувалося кожним методом; обґрунтовується вибір методів, що забезпечують достовірність отриманих результатів та висновків. Представлені основні наукові результати, які виносяться на захист, із зазначенням відмінності отриманих результатів від відомих раніше, відмічається практичне значення отриманих наукових результатів. Зазначається конкретний особистий внесок здобувача в роботах, що виконані у співавторстві, відомості щодо апробації, публікації матеріалів дисертації, впровадження результатів дисертації, анонсується структура та загальний обсяг роботи.

У першому розділі дисертації проаналізовані основні етапи обробки ОЕЗ та рівні локалізації об'єктів інтересу на етапі розпізнавання, основні вимоги до якості тематичного сегментування ОЕЗ. Стисло, критично висвітлені роботи попередників, окреслені основні етапи розвитку наукової думки щодо вирішення завдання сегментування ОЕЗ та вирішені питання, що залишилися невирішеними, обґрунтовується вибір напряму дослідження.

У другому розділі дисертації наводяться еволюційні та ройові методи тематичного сегментування зображень та їх порівняльна оцінка. Наведені та проаналізовані узагальнений ройовий метод, UML-діаграма класів ройових методів та UML-діаграма роботи узагальненого ройового методу. Для проведення подальшого дослідження у якості методів тематичного сегментування ОЕЗ обрано методи на основі мурашиних алгоритмів, визначені їх основні переваги. Сформульовані мета і завдання дослідження

У третьому розділі дисертації удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму. Стисло розглянуті особливості формування зображень з бортових систем ОЕС та встановлено, що вони є складними (складноструктурованими) і мають такі особливості: наявність великої кількості різномірних об'єктів, які відносяться до різних структурно-просторових елементів; кожному виду об'єкта притаманні власні характеристики; об'єкти є морфологічно складними структурами, компактними та малоконтрастними у порівнянні з фоном; великий об'єм різних даних; обмежений обсяг або взагалі відсутність апріорної інформації про кількість та ймовірнісні характеристики об'єктів інтересу; наявність факторів, що спотворюють ОЕЗ (шуми, зміна масштабу та поворот); неоднорідності значення яскравості в межах відповідних структурно-просторових елементів. Сформульовані основні вимоги до методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

Сегментування вихідного зображення з бортової системи ОЕС $f(x,y)$ (вираз (1)):

$$f(x,y) \rightarrow fs(x,y), \quad (1)$$

де $f(x,y)$ – вихідне ОЕЗ; $fs(x,y)$ – сегментоване зображення,

передбачає відображення пікселів (точок) вихідного зображення з координатами (x,y) в деякий простір ознак та введення міри близькості на цьому просторі ознак. У якості ознаки використовується яскравість у деякому кольоровому просторі пікселів з координатами (x,y) на зображенні $f(x,y)$ та її ознаки – області однорідності та перепадів (градієнт). Мірою близькості є евклідова відстань між пікселями у кольоровому просторі, а сегментування вихідного зображення відповідно до (1) передбачає розбиття $f(x,y)$ на сегменти B_i , що задовольняє умовам (2):

$$\begin{cases} \bigcup_{i=1}^K B_i = B; \\ B_i \cap B_j = \emptyset, \text{ для } i \neq j; \forall i, j = \overline{1, K}; \\ LP(B_i) = 1; \forall i = \overline{1, K}; \\ LP(B_i \cap B_j) = 0, \text{ для } i \neq j; \forall i, j = \overline{1, K}, \end{cases} \quad (2)$$

де $B: B = \{B_1, B_2, \dots, B_K\}$ – сегменти на зображенні $f(x,y)$; K – кількість сегментів B_i , $(i=1, 2, \dots, K)$; LP – предикат, що визначений на B , та приймає значення "1" – істина тоді і тільки тоді, коли люба пара точок з кожного сегменту B_i задовольняє деякому критерію однорідності – вираз (3):

$$LP(B_i) = \begin{cases} 1, \text{ при } f(x_1, y_1) = \dots = f(x_M, y_M); \\ 0, \text{ в іншому випадку,} \end{cases} \quad (3)$$

де $(x_m, y_m) \in B_i$, $m = 1, 2, \dots, M$; M – кількість точок в сегменті B_i .

Результатом тематичного сегментування є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон), тобто кількість сегментів на сегментованому зображенні дорівнює $K=2$.

Удосконалений метод тематичного сегментування з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму представлено таким чином:

1. Ініціалізація початкових положень агентів на зображенні на першій ітерації ($j=1$). $\mathbf{X}_{i1}(x_{i1}, y_{i1})$ – вектор положень агентів на першій ітерації, $i=1, 2, \dots, S$; S – загальна кількість агентів. Загальна кількість агентів дорівнює кількості пікселів на вихідному зображенні.

2. Розрахунок цільової функції $\varphi_j(\mathbf{X})$ на j -ій ітерації (вираз (4)):

$$\varphi_j(\mathbf{X}) = \sum_{m=1}^S \sum_{i=1}^N (P_i^m(j) D_i^m(j)) \quad (4)$$

де m – поточний номер агента; N – розмір зображення; $P_i^m(j)$ – ймовірність переходу m -го агента в i -ту поворотну точку маршруту (ПТМ) на j -ій ітерації (вираз (5)):

$$P_i^m(j) = \frac{(F_i^m(j))^\alpha (L_i^m(j))^\beta}{\sum_{r=1}^R (F_r(j)^\alpha \cdot L_r^\beta)}, \quad (5)$$

де α і β – параметри, що задають вагу феромона і "жадібність" методу; R –

кількість можливих ПТМ; $L_i^m(j)$ – привабливість ділянки маршруту для m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації; $F_i^m(j)$ – концентрація феромону m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації; функція $D_i^m(j)$ визначається за виразом (6):

$$D_i^m(j) = |\Delta x_i^m(j)| + |\Delta y_i^m(j)| + k |\Delta f_i^m(j)|, \quad (6)$$

де $|\Delta x_i^m(j)|$, $|\Delta y_i^m(j)|$ – елементарні переміщення m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації по осям x та y відповідно; k – коефіцієнт, що враховує різницю масштабів по осям x та y і яскравості пікселів зображення. Якщо яскравість приймає значення з діапазону $[0..255]$, то $k = 1$; $|\Delta f_i^m(j)|$ – різниця яскравостей сусідніх пікселів для m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації – вираз (7):

$$|\Delta f_i^m(j)| = |f(x_i^m(j), y_i^m(j)) - f(x_{i-1}^m(j), y_{i-1}^m(j))|. \quad (7)$$

3. Переміщення агентів. На кожній ітерації m агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на маршруті. Кожний агент на зображенні починає шлях з вихідної точки маршруту (ВТМ), послідовно проходить вибрані методом ПТМ і завершує шлях в одній з кінцевих точок маршруту (КТМ). Переміщення агентів проводиться по критерію мінімуму цільової функції (4), яка, з урахуванням чотирьох зв'язності переміщення агентів (вираз (8)):

$$|\Delta x_i^m(j)| + |\Delta y_i^m(j)| = 1, \quad (8)$$

приймає вигляд (9):

$$\varphi_j(\mathbf{X}) = \sum_{m=1}^S \sum_{i=1}^N \left(P_i^m(j) \left(1 + k |f(x_i^m(j), y_i^m(j)) - f(x_{i-1}^m(j), y_{i-1}^m(j))| \right) \right) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Привабливість ділянки маршруту $L_i^m(j)$ обернено залежить від затрат на подолання ділянки (вираз (10)):

$$L_i^m(j) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{D_i^m(j)}{D_0}}}, \quad (10)$$

де $D_i^m(j)$ – довжина ділянки маршруту для m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації; D_0 – характерний масштаб, зміст його в тому, що при $D_i^m(j) = D_0$ привабливість приймає значення $1/(1+e)$ для виразу (10).

На початку ітераційного процесу кількість феромону на ділянках маршруту приймається однаковою і рівною невеликому числу F_0 . Після кожної ітерації концентрація феромону на ділянках оновлюється за виразом (11):

$$F_i^m(j+1) = (1 - \rho) F_i^m(j) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (11)$$

де $\rho \in [0,1]$ – швидкість випаровування феромону; ΔF_i^m – концентрація феромону на i -ій 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 "випаровується", і непривабливі маршрути зникають. При $\alpha=0$ агенти на кожному кроці переходять в найближчу ПТМ, і мурашиний алгоритм перетворюється в "жадібний" метод класичної теорії оптимізації. При $\beta=0$ враховується тільки вплив феромонів, що швидко приведе рішення до субоптимального.

4. Перевірка виконання умови зупинки. Якщо умова виконана – отримується сегментоване зображення $fs(\mathbf{X})$, в іншому випадку – перехід до другого пункту.

Проведено тематичне сегментування тонового зображення з бортової системи ОЕС: на рис. 1а наведено вихідне ОЕЗ з космічного апарату (КА) WorldView-1 (район катастрофи лайнера Costa Concordia, градації сірого кольору від 0 до 255, розмір зображення – (640x640) пікселів), на рис. 1б наведено сегментоване ОЕЗ методом на основі мурашиного алгоритму. Параметри методу: $S=409600$ шт.; $\alpha=2$; $\beta=1$; $\rho=10^{-3}$; $F_0=10^{-2}$; умова зупинки методу – гранична кількість ітерацій (50 ітерацій). Візуальна оцінка якості сегментованого ОЕЗ (рис. 1б) дозволяє визначити об'єкти інтересу – елементи лайнера тощо.

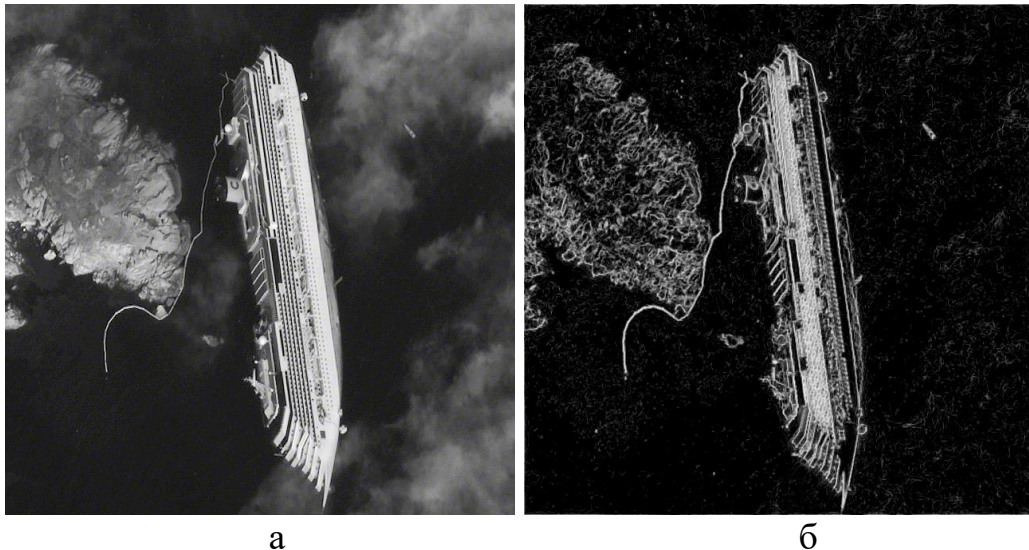


Рисунок 1 – Тонові зображення: а) вихідне ОЕЗ, б) сегментоване ОЕЗ

Для тематичного сегментування кольорового зображення запропоновано метод на основі мурашиного алгоритму, який передбачає:

- введення початкових даних: $f(\mathbf{X})$, S , α , β , ρ , F_0 ;
- виділення кольорових каналів на вихідному зображенні $f(\mathbf{X})$: $f_R(\mathbf{X})$, $f_G(\mathbf{X})$, $f_B(\mathbf{X})$ (де $f_R(\mathbf{X})$, $f_G(\mathbf{X})$, $f_B(\mathbf{X})$ – зображення по кольоровим каналам Red, Green, Blue, відповідно);
- виділення каналу яскравості в кожному кольоровому каналі вихідного зображення: $f_R(\mathbf{X})$, $f_G(\mathbf{X})$, $f_B(\mathbf{X})$;
- тематичне сегментування зображення в кожному кольоровому каналі методом на основі мурашиного алгоритму та отримання сегментованих зображень по кожному кольоровому каналу: $fs_R(\mathbf{X})$, $fs_G(\mathbf{X})$, $fs_B(\mathbf{X})$ (де $fs_R(\mathbf{X})$, $fs_G(\mathbf{X})$, $fs_B(\mathbf{X})$ – сегментовані зображення у кольорових каналах Red, Green, Blue, відповідно);
- зворотній перехід до кольорової моделі RGB (об'єднання кольорових каналів);
- отримання сегментованого кольорового зображення $fs(\mathbf{X})$.

Проведено тематичне сегментування кольорового зображення з бортової системи ОЕС: на рис. 2а наведено вихідне ОЕЗ з КА Ikonos (район Донецького аеропорту, кольоровий простір RGB, розмір зображення – (868x847) пікселів), на рис. 2б наведено сегментоване ОЕЗ методом на основі мурашиного алгоритму. Візуальна оцінка якості сегментованого ОЕЗ (рис. 2б) дозволяє визначити об'єкти інтересу – ємності з нафтою або паливом для літаків; літаки, що вціліли після завдання удару; літаки, що були пошкоджені або знищені тощо.

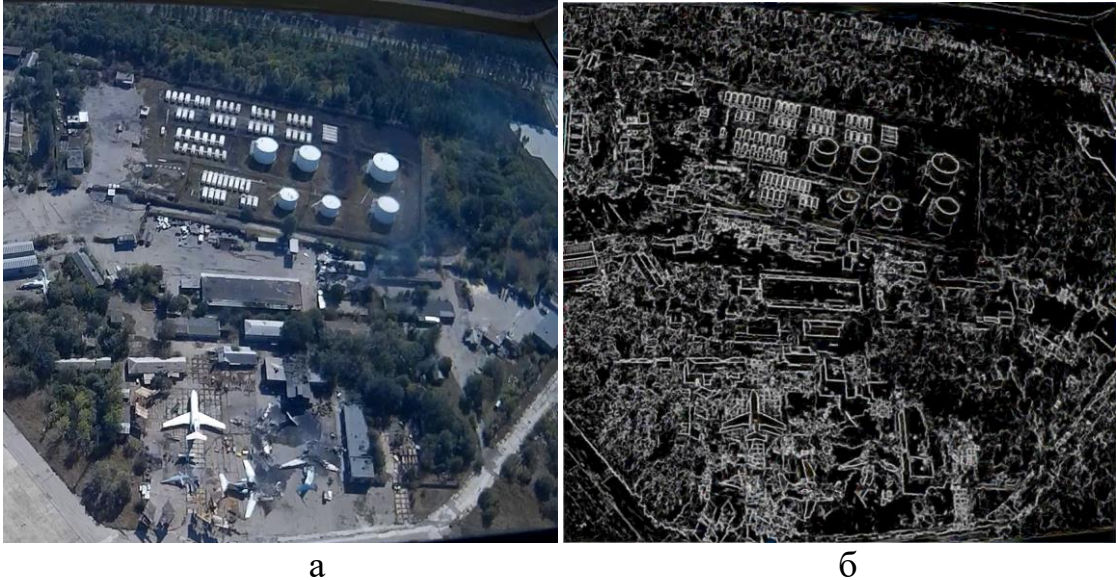


Рисунок 2 – Кольорові зображення: а) вихідне ОЕЗ, б) сегментоване ОЕЗ

На сегментованих зображеннях (рис. 1б, рис. 2б) відмічається велика кількість об'єктів малого розміру ("сміттєвих" об'єктів). З метою зменшення "сміттєвих" об'єктів запропоновано метод тематичного сегментування на основі мурашиних алгоритмів з використанням елітних агентів (відсоток елітних агентів складає 1%, 5%, 10%). Встановлено, що використання елітних агентів візуально зменшує кількість "сміттєвих" об'єктів, але може привести до знаходження не глобального, а локальних мінімумів цільової функції, що може вплинути на якість сегментування.

У четвертому розділі дисертації отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС (рис. 3). Підвищення якості багатомасштабної обробки ОЕЗ засновано на тому, що об'єкти інтересу будуть знаходитися на зображеннях з різним значенням масштабу, а їх дешифрувальні ознаки можуть проявлятися в той чи іншій мірі на зображеннях декількох масштабах. Деякі дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу можуть змінитися настільки, що в змозі розглядатися як інша (додаткова) дешифрувальна ознака.

Проведена багатомасштабна обробка тонових та кольорових ОЕЗ з різним значенням масштабу, сегментовані зображення наведені на рис. 4. Порівняння рис. 1б та рис. 4а, рис. 2б та рис. 4б свідчить про те, що багатомасштабна обробка підвищує візуальну якість тематичного сегментування та приводить до зменшення кількості "сміттєвих" об'єктів (у порівнянні рис. 2б та рис. 4б). Проведена багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем ОЕС з застосуванням методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів.

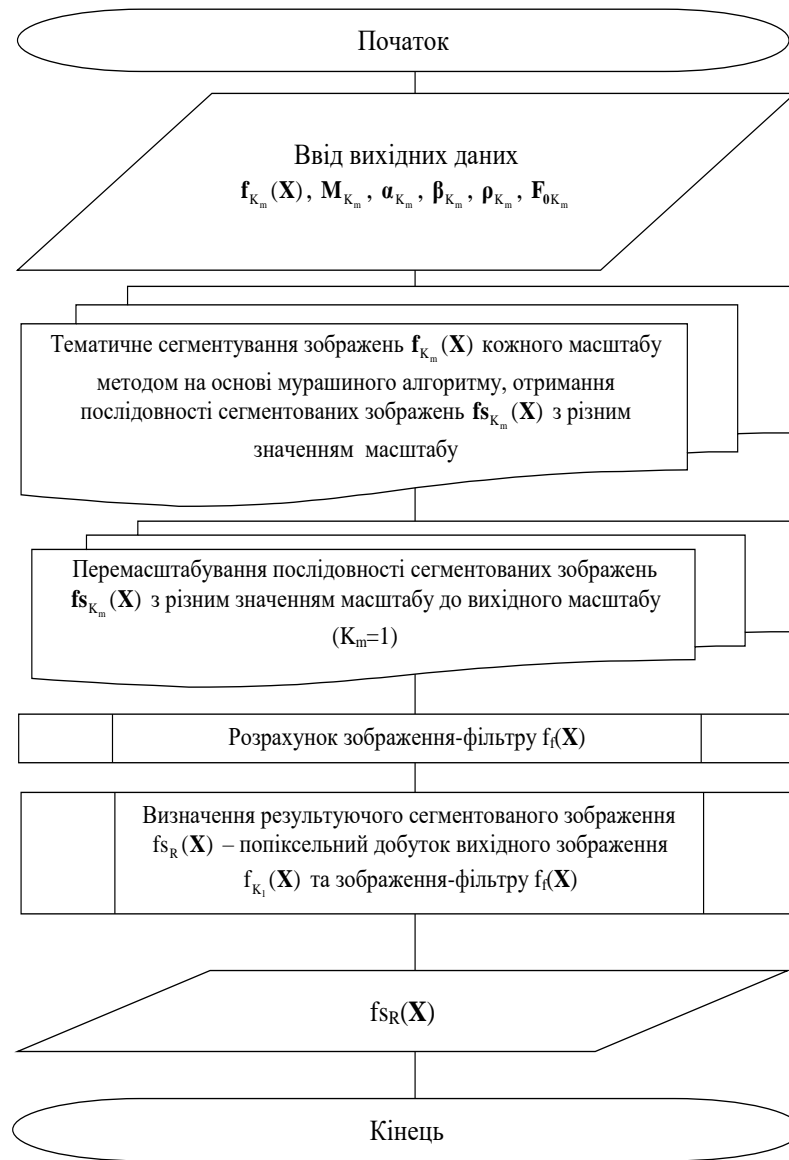


Рисунок 3 – Метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС

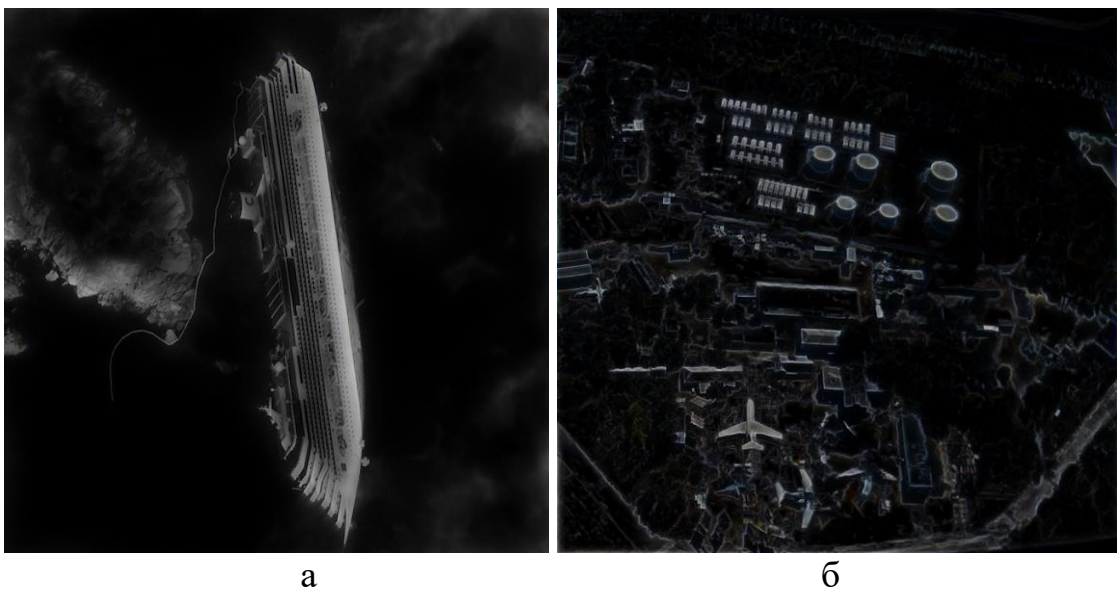


Рисунок 4 – Результат сегментування: а) тонових ОЕЗ, б) кольорових ОЕЗ з різним значенням масштабу

У п'ятому розділі дисертації удосконалено прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем ОЕС. Для візуалізації та формального представлення структури і складу інформаційної технології тематичного сегментування зображень (intelligent information technology for the thematic segmentation of images (ІТТІ)) з бортових систем ОЕС використовувалася методологія системного моделювання IDEF0, що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT. У відповідності до синтаксису та семантики IDEF0 технологія ІТТІ представлена у вигляді кортежу $T^{ІТТІ}$, множини $D_1^{ІТТІ}$ та множини $\{L_j^1\}$ (вираз (12)):

$$T^{ІТТІ} = \langle In^{ІТТІ}, \{D_1^{ІТТІ}\} \rangle; D_1^{ІТТІ} = \{\{F_i^1\}, \{L_j^1\}\}; L_j^1 = \{\{V_j^1\}, \{C_s^1\}, \{I_m^1\}, \{O_n^1\}, \{M_r^1\}\}, (12)$$

де $In^{ІТТІ}$ – формулювання поставленої цілі – розробка системи пов'язаних функцій, що реалізують прийоми, способи та методи збору, зберігання, обробки, передачі та використання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС; $\{D_1^{ІТТІ}\}$ – множина рівнів деталізації представлення інформаційної технології ІТТІ; $l=0, \dots, 3$, де при $l=0$ формується контекстна діаграма верхнього рівня, при $l=1$ – верхня дочірня діаграма, при $l=2, l=3$ – дочірні діаграми; $\{F_i^1\}$ – множина функцій, що реалізують прийоми, способи та методи роботи зі знаннями (даними) на $\{D_1^{ІТТІ}\}$ рівні деталізації представлення інформаційної технології ІТТІ; $\{L_j^1\}$ – множина внутрішніх та граничних взаємодій елементів системи; $\{V_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина внутрішніх взаємодій між функціями з множини $\{F_i^1\}$; $\{C_s^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина керуючих граничних взаємодій програмних та технічних засобів, що реалізують інформаційну технологію ІТТІ; $\{I_m^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина вхідних керуючих граничних взаємодій, що відображають дані (інформацію, знання), які перетворюються функцією; $\{O_n^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина вихідних керуючих граничних взаємодій, що відображають дані (знання) про об'єкти, що виробляються функцією; $\{M_r^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина граничних взаємодій, що відображають математичний апарат для формалізації знань щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

Для прикладу на рис. 5 наведена дочірня діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ІТТІ для реалізації функції-підпроцесу розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

В роботі наведена функціональна структура програмно-технічних засобів реалізації та структура алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

На рис. 6–9 наведені сегментовані зображення відомими методами та методами інформаційної технології ІТТІ на основі мурашиних алгоритмів. Візуальна оцінка сегментованих зображень свідчить про підвищення якості сегментування методами ІТТІ у порівнянні з відомими.

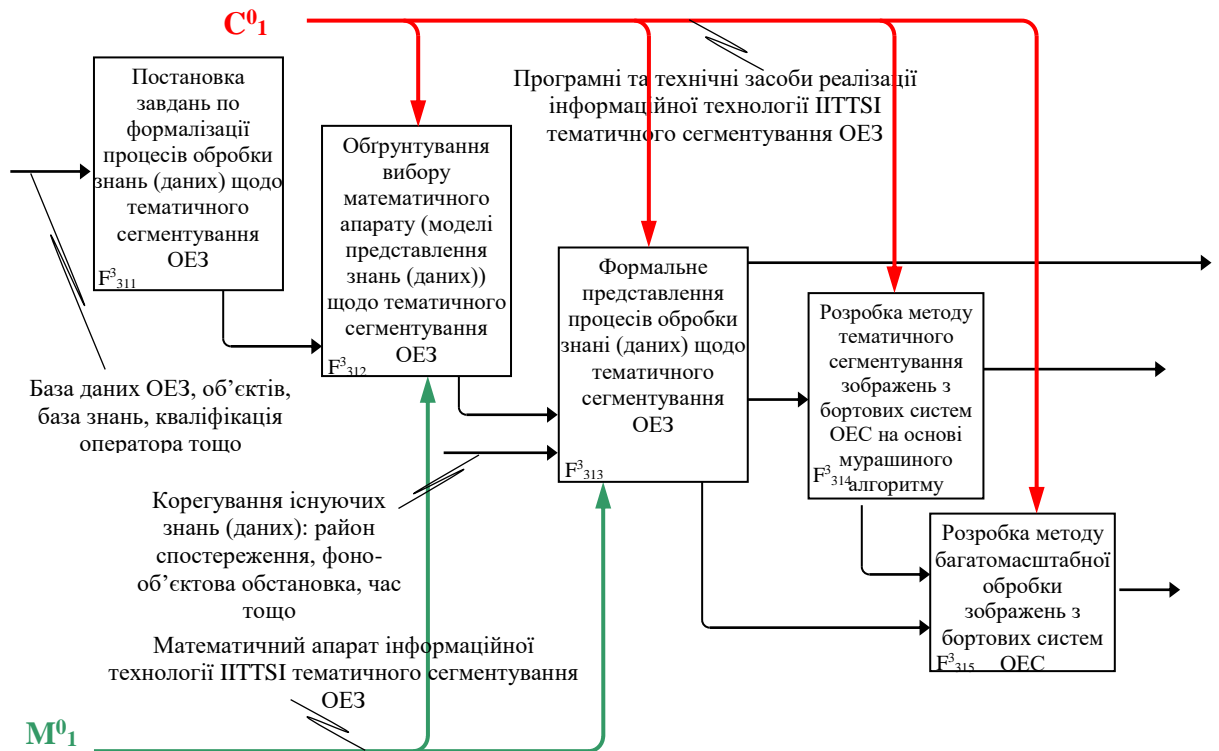


Рисунок 5 – Дочірна діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ПТТСІ для реалізації функції-підпроцесу розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

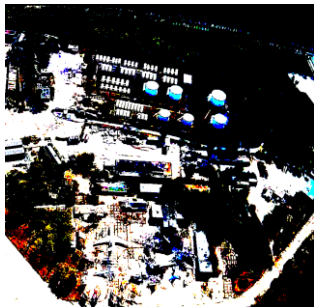


Рисунок 6 – Метод Otsu



Рисунок 7 – Метод k-means (k=2)



Рисунок 8 – Метод Canny



Рисунок 9 – Методи технології ПТТСІ

Для кількісної оцінки якості тематичного сегментування проведена оцінка помилок першого роду $\alpha_1(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X}))$ (вираз (13)), другого роду $\beta_2(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X}))$ (вираз (14)) та інформаційних показників – відстані Кульбака-Лейблера (вираз (15)), ентропії сегментованого зображення (вираз (16)).

$$\alpha_1(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = \frac{1}{NM} \sum_{\mathbf{X} \in Z_f} fs(\mathbf{X}), \tag{13}$$

де $Z_f = \{\mathbf{X} | f(\mathbf{X}) = 0\}$ – множина пікселів, що не належать об'єктам інтересу на вихідному зображенні $f(\mathbf{X})$; $(N \times M)$ – кількість пікселів на зображенні.

$$\beta_2(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = \frac{1}{NM} \sum_{\mathbf{X} \in Z_{fs}} f(\mathbf{X}), \tag{14}$$

де $Z_{fs} = \{\mathbf{X} | fs(\mathbf{X}) = 0\}$ – множина пікселів, що не належать об'єктам інтересу на

сегментованому зображенні $fs(\mathbf{X})$.

$$K(p_{\xi}, p_{\eta}) = \iint_{R^2} p_{\xi}(x, y) \log_2 \frac{p_{\xi}(x, y)}{p_{\eta}(x, y)} dx dy, \quad (15)$$

де $p_{\xi}(x, y)$, $p_{\eta}(x, y)$ – розподіл яскравості вихідного та сегментованого зображення, відповідно; R^2 – площа зображення,

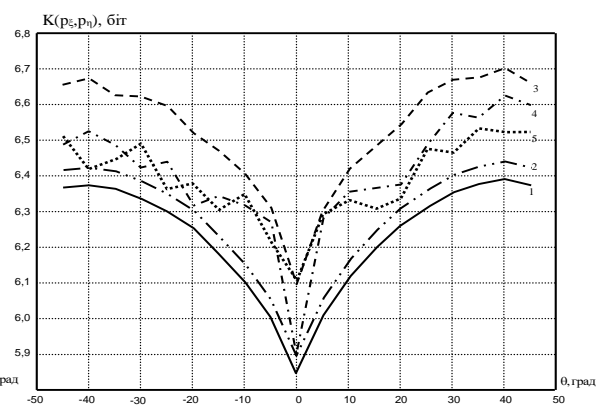
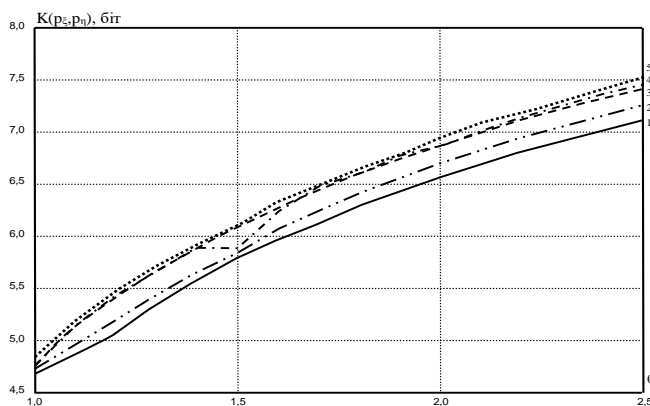
$$H = - \sum_c p_c \log_2 p_c, \quad (16)$$

де p_c – ймовірність появи кольору з яскравістю c .

Проведена порівняльна оцінка якості тематичного сегментування відомими методами та методами ПТТСІ, результати наведені в табл. 1 та на рис. 10–14.

Таблиця 1 – Оцінка помилок першого та другого роду тематичного сегментування ОЕЗ різними методами

Метод тематичного сегментування	Без спотворень		Поворот		Зміна масштабу		Шуми					
	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	"Сіль та перець"		Спекл-шум	
	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %	α_1 , %	β_2 , %
Otsu	18,3	25,7	20,34	26,66	19,01	26,33	22,7	27,66	20,3	26,5	21,3	27,0
Canny	10,5	14,3	15,76	18,66	13,61	16,55	17,34	19,55	12,0	15,7	18,3	20,1
k-means (k=2)	18,5	25,8	21,55	28,89	20,77	27,7	23,6	27,88	20,6	26,9	22,01	28,3
k-means (k=3)	17,3	23,7	20,99	27,8	20,33	27,1	22,6	27,6	20,7	26,8	21,13	27,65
k-means (k=4)	15,5	20,3	19,33	25,55	18,88	25,13	20,11	26,27	19,1	22,3	20,11	25,23
k-means (k=5)	14,1	16,08	18,11	24,22	17,66	24,01	19,29	25,11	18,5	21,0	19,76	21,19
Random forest	15,9	17,76	19,12	24,66	18,12	24,88	20,88	25,98	19,0	22,6	20,67	23,89
Методи інформаційної технології ПТТСІ	8,15	11,84	12,23	15,89	11,01	13,66	15,77	16,08	10,99	14,34	15,97	17,33



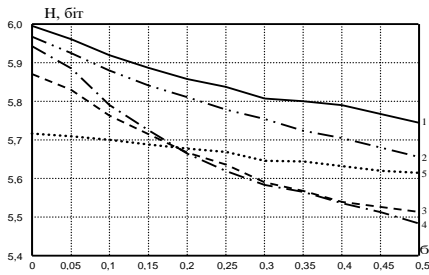


Рисунок 12 – Оцінка ентропії сегментованого ОЕЗ при впливі АБГШ

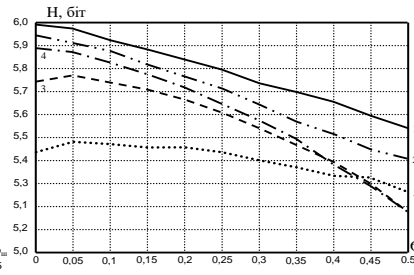


Рисунок 13 – Оцінка ентропії сегментованого ОЕЗ при впливі шуму "сіль та перець"

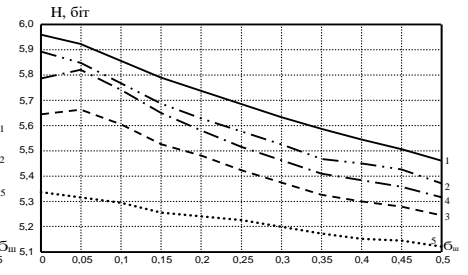


Рисунок 14 – Оцінка ентропії сегментованого ОЕЗ при впливі спекл-шуму

На рис. 10–14 цифрами позначені: 1 – методи прикладної інформаційної технології ПТТСІ; 2 – метод Canny; 3 – метод k-means (k=4); 4 – метод Random forest; 5 – метод Otsu.

З порівняльного аналізу якості тематичного сегментування встановлено, що використання методів інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів дозволяє підвищити якість обробки ОЕЗ.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота має теоретичне значення та містить нові науково обґрунтовані результати, які розв'язують актуальне наукове завдання розробки методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів, що має істотне значення в галузі технічних наук.

В результаті проведення дослідження отримано такі наукові і практичні результати.

1. На основі проведеного аналізу встановлено, що у відомих роботах тематичне сегментування зображень з бортових систем ОЕС або взагалі не розглядається, або його розгляд обмежується відомими методами сегментування, які недостатньо відповідають сучасним вимогам до якості сегментування ОЕЗ та не можуть бути напряму застосовані до сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Проведено порівняльна оцінка еволюційних та ройових методів тематичного сегментування зображень. Для тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС обрано методи на основі мурашиних алгоритмів.

2. Удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму, у якому, на відміну від відомих, враховані особливості формування зображення, для тематичного сегментування застосовується мурашиний алгоритм, а сегментування зображення зведено до розрахунку цільової функції, сукупності ділянок руху агентів, концентрації феромону на маршрутах руху агентів, що підвищує якість обробки зображень.

3. Отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС, в якому, на відміну від відомих, тематичне сегментування зображень з різним значення масштабу проводиться на основі мурашиного алгоритму, здійснюється перемасштабування сегментованих зображень з різним значенням масштабу до вихідного розміру та розраховується зображення-фільтр, а результуюче сегментоване зображення є попіксельним добутком вихідного

зображення та зображення-фільтру, що знижує похибки першого та другого роду й підвищує інформаційні показники тематичного сегментування зображень.

4. Удосконалено прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, в якій, на відміну від відомих, передбачається визначення кількості та масштабності зображень, кольорового простору представлення зображень, виділення каналів яскравості кожного кольорового простору, застосування для тематичного сегментування зображень методів на основі мурашиних алгоритмів.

5. Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів в модернізацію існуючих і розробку перспективних систем обробки зображень дозволить підвищити якість обробки ОЕЗ, а саме:

- знизити помилки сегментування першого та другого роду на величину від 8% до 19%;

- підвищити якість сегментованого зображення без впливу спотворюючих факторів (виграш у значенні інформаційних показників: відстані Кульбака-Лейблера – від 5% до 13%, ентропії сегментованого зображення – від 6% до 16%);

- підвищити якість сегментованого зображення при впливі спотворюючих факторів (виграш у значенні інформаційних показників: відстані Кульбака-Лейблера – від 7% до 16%, ентропії сегментованого зображення – від 8% до 18%).

6. Практичні результати, що отримано, підтверджені актами реалізації та впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертації, високу якість розроблених методів та інформаційної технології. Результати дисертаційної роботи впроваджені та реалізовані: у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів, м. Київ; в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління, м. Київ; у спеціалізованому програмно-апаратному комплексі обробки інформації військової частини А0515, м. Київ; у товаристві з обмеженою відповідальністю науково-виробничій фірмі "Адрон", м. Київ; в ході дослідницьких навчань при сегментуванні складноструктурованих зображень у військовій частині А2183, м. Первомайськ; в ході дослідних навчань при сегментуванні багатомасштабної послідовності складноструктурованих зображень у військовій частині А4465, м. Миколаїв; у Державному підприємстві "Центральне конструкторське бюро "Протон", м. Харків.

7. На користь обґрунтованості та достовірності наукових результатів дисертаційної роботи свідчать такі фактори: використання в роботі теоретично обґрунтованих та апробованих на практиці методів теорії ймовірності, математичної статистики, кластеризації даних, еволюційних обчислень, ройових методів, математичного апарату теорії матриць, методів диференційного числення, математичного моделювання, цифрової обробки зображень, математичної логіки, створення інформаційних технологій, теорії оптимізації; аналітичних та емпіричних методів порівняльного дослідження; добре співпадіння (довірча ймовірність $\sim 0,9$) теоретичних розрахунків та результатів обробки ОЕЗ; залучення широкої наукової громадськості до апробації наукових результатів на представницьких наукових форумах, їх публікація у визнаних фахових наукових виданнях.

8. Наукове значення роботи полягає у подальшому розвитку теорії обробки цифрових зображень у напрямку підвищення якості обробки ОЕЗ шляхом застосування методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів.

9. Подальші дослідження доцільно продовжити у напрямку застосування методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів для обробки зображень, що отримані від інших засобів спостереження (радіолокаційних, інфрачервоних, гіперспектральних тощо).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Худов В.Г. Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: коллективная монография / под общей редакцией В.М.Безрука, В.В.Баранника. – Х.: Издательство "Лидер", 2017. – 600 с.

2. Худов В.Г. Мультиагентный метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи озброєння та військова техніка*. 2016. № 3 (47). С. 116–119.

3. Худов В.Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультиагентним методом. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. Вип. 1 (37). С. 107–110.

4. Худов В.Г. Інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням методології системного моделювання IDEF0. *Advanced Information Systems*. 2018. Vol. 2. № 4. P. 64–69.

5. Худов В.Г., Кучук Г.А., Маковейчук О.М., Крижний А.В. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 9 (146). С. 77–80.

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. Рубан І.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 2 (42). С. 143–146.

8. Худов В.Г., Хижняк І.А., Петров О.А. Ройовий метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 3 (43). С. 34–37.

9. Худов В.Г., Хижняк І.А. Вибір кольорового простору для сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи озброєння та військова техніка*. 2017. № 1 (49). С. 168–172.

10. Худов В.Г., Маковейчук О.М., Хижняк І.А. Оцінка якості еволюційного методу сегментування зображення, що отримано з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 4 (44). С. 133–137.

11. Худов В.Г., Маковейчук О.М., Хижняк І.А. Оцінка якості сегментування оптико-електронного зображення шляхом оцінки комплексних показників та

відстані Кульбака-Лейблера. *Системи обробки інформації*. 2017. Вип. 4 (150). С. 27–30.

12. Худов В.Г., Худов Г.В. Метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Радиоелектроника и информатика*. 2017. № 2 (77). С. 51–54.

13. Худов Г.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Новікова І.В. Оцінка відстані Кульбака-Лейблера при тематичному сегментуванні оптико-електронного зображення методом Канні. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2017. № 2 (29). С. 83–90.

14. Рубан І.В., Худов В.Г., Подліпаєв В.О. Інформаційна технологія сегментування зображень, отриманих з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Системи озброєння та військова техніка*. 2017. № 2 (50). С. 110–113.

15. 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 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

16. Хижняк І.А., Маковейчук О.М., Худов В.Г., Рубан І.В., Худов Г.В. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим методом. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 1 (47). С. 146–152.

17. Хижняк І.А., Худов Г.В., Рубан І.В., Маковейчук О.М., Соломоненко Ю.С., Худов В.Г. Метод тематичного сегментування кольорового зображення бортової системи оптико-електронного спостереження. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 5 (51). С. 13–19.

18. Ruban I.V., Khudov V.G., Khizhnyak I.A., Makoveichuk O.M. Segmentation of multiple image sequences, which obtained from optoelectronic observations of the aircraft. *News of Science and Education*. 2017. № 5 (53). P. 103–110.

19. Худов В.Г. Виділення границь структурованим детектором на зображенні, що отримане з бортової системи оптико-електронного спостереження. *Збірник наукових праць ХНУПС*. 2017. Вип. 4 (53). С. 129–133.

20. Худов В.Г., Маковейчук О.М. Удосконалений еволюційний метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень, отриманих з космічних систем оптико-електронного спостереження. *Збірник наукових праць ХНУПС*. 2017. Вип. 3 (52). С. 93–97.

21. Кучук Г.А., Рубан І.В., Худов В.Г. Підвищення якості стеганоаналізу за рахунок попередньої сегментації зображень. *Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі "ПНПЗК-2016"*: Тези допов. першої Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, Київ, Кіровоград, Вінниця, Софія, Баку, Бельсько-Бяла, 30 березня – 1 квітня 2016). Харків: НТУ "ХП", НАУ ім. М.С.Жуковського, ХНУРЕ; Київ: Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України; Кіровоград: КНТУ; Вінниця: ВНТУ; Софія: Софійський технічний університет; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: Університет технології і гуманітарних наук, 2016. С. 13–14.

22. Худов В.Г., Маковейчук О.М., Бутко І.М. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень еволюційним методом. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: Тези допов. 13

наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 12–13 квіт. 2017). Харків: ХНУПС, 2017. С. 469–470.

23. Рубан І.В., Худов В.Г., Бутко І.М., Горбань Г.В. Інформаційна технологія сегментування оптико-електронного зображення мурашиними методами. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: Тези допов. 14 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 11–12 квіт. 2018). Харків: ХНУПС, 2018. С. 470–471.

24. Рубан І.В., Худов В.Г. Показники якості сегментування оптико-електронних зображень. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Тези допов. сьомої Міжнар. наук.-техн. конф. (Полтава, Баку, Кропивницький, Харків, 20–21 квітня 2017). Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Кропивницький: КЛА НАУ; Харків: ДП "ХНДІ ТМ", 2017. С. 3–4.

25. Рубан І.В., Худов В.Г., Худов Р.Г. Підвищення якості сегментування оптико-електронних зображень за рахунок використання багатомасштабного перетворення. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ*: Тези допов. Міжнар. наук.-техн. конф. (Львів, 11–12 трав. 2017). Львів: НАСВ, 2017. С. 106–107.

26. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Маковейчук О.М., Сердюк О.В. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення роївим методом. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ*: Тези допов. Міжнар. наук.-техн. конф. (Львів, 17–18 трав. 2018). Львів: НАСВ, 2018. С. 241.

27. Худов В.Г., Кучук Г.А. Мультиагентний метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій*: Тези допов. VIII Міжн. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 21–23 вересня 2016). Запоріжжя: ЗНТУ, ХНУРЕ, 2016. С. 197–198.

28. Рубан І.В., Худов В.Г., Маковейчук О.М., Хижняк І.А. Удосконалений еволюційний метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень, отриманих з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Спільні дії військових формувань та правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи*: Тези допов. четвертої Всеукр. наук.-практ. конф. (Одеса 7–8 вересня 2017). Одеса: Військова академія, НА ДПС України, 2017. С. 172–173.

29. Худов В.Г., Худов Р.Г., Хижняк І.А. Метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування*: Тези допов. III Всеукраїнської наук.-техн. конф. (Тернопіль, 8–9 червня 2017). Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 29–30.

30. Худов В.Г., Хижняк І.А., Худов Г.В. Оцінка показників якості сегментування оптико-електронного зображення еволюційним методом. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку*: Тези допов. XXXIV Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конф. (Переяслав-Хмельницький, 20 червня 2017). Переяслав-Хмельницький: ДВНЗ "Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди", 2017. С. 77–81.

31. Худов В.Г., Рубан І.В. Еволюційний метод сегментування зображення, що отримане з бортової системи оптико-електронного спостереження. *Інформаційні*

системи і технології: Тези допов. міжнародної наук.-техн. конф., присвяченої 80-річчю В.В.Свірідова (Коблево – Харків, 11–16 вересня 2017). Харків: ХНУРЕ, 2017. С. 212–213.

32. Худов Г.В., Хижняк І.А., Худов В.Г. Інформаційна технологія сегментування зображень, що отримані з космічних систем оптико-електронного спостереження. *Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи*: Збірник тез допов. наук.-практ. конф. (Київ, 4 жовтня 2017). Київ: Державне космічне агентство України, НЦУВКЗ, 2017. С. 109–110.

33. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. An improved method for segmentation of a multiscale sequence of optoelectronic images. *Problems of infocommunications science and technology: Conference Proceeding of 4th International scientific-practical conference* (Kharkiv, October, 10–13, 2017). Kharkiv: IEEE, 2017. P. 137–141 (входить до міжнародних наукометричних баз IEEE Xplore та Scopus).

34. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. A swarm method for segmentation of images obtained from on-board optoelectronic surveillance systems. *Problems of infocommunications science and technology: Conference Proceeding of 5th International scientific-practical conference* (Kharkiv, October, 9–12, 2018). Kharkiv: IEEE, 2018. P. 613–618 (входить до міжнародних наукометричних баз IEEE Xplore та Scopus).

35. Худов Г.В., Худов В.Г., Хижняк І.А. Удосконалений метод сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки*: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ 11–12 жовтня 2017). К.: МО, МОН, ЦНДІ ОВТ, 2017. С. 311–312.

36. Худов Г.В., Хижняк І.А., Худов В.Г. Інформаційна технологія сегментування зображень, отриманих з безпілотних літальних апаратів. *Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України*. Тези допов. X Всеукр. наук.-практ. конф. (Хмельницький, 2 листопада 2017). Хмельницький: НА ДПС України, 2017. С. 632–633.

37. Худов В.Г., Маковейчук О.М., Подліпаєв В.О., Бутко І.М. Визначення ознак об'єктів інтересу для підвищення якості тематичного сегментування оптико-електронного зображення. *Проблеми інформатизації*: Тези допов. п'ятої Міжнар. наук.-техн. конф. (Черкаси, Баку, Бельсько-Бяла, Полтава, 13–15 листопада 2017). Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: Університет технології і гуманітарних наук; Полтава: ПНТУ, 2017. С. 71.

38. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Худов Г.В. Підвищення якості сегментування оптико-електронних зображень, що отримані з борту безпілотного літального апарату. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності*: Тези допов. наук.-практ. конф. (Львів, 16 листопада 2017). Львів: НАСВ, 2017. С. 91–92.

39. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Соломоненко Ю.С., Маковейчук О.М. Тематичне сегментування оптико-електронного зображення методом ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії (АВС)). *Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції*:

Тези допов. XXII Всеукр. наук.-практ. конф. (Житомир, 26–27 квітня 2018). Житомир: ЖВІ, 2018. С. 251–252.

40. Рубан І.В., Худов В.Г., Маковейчук О.М., Подліпаєв В.О. Інформаційна технологія тематичного сегментування тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Тези допов. восьмої Міжнар. наук.-техн. конф. (Полтава, Баку, Харків, Жиліна, 26–27 квітня 2018). Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Харків: НТУ "ХП", ДП "ХНДІ ТМ"; Жиліна: Університет міста Жиліна, 2018. С. 58.

41. Хижняк І.А., Худов В.Г., Худов Р.Г. Інформаційна ройова технологія тематичного сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження. *The development of technical sciences: problems and solutions*: Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. (Брно, Чеська Республіка, 27–28 квітня 2018). Брно: Університет міста Брно, 2018. С. 48–51.

АНОТАЦІЯ

Худов В.Г. Методи тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиних алгоритмів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2019.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання розробки методів тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиних алгоритмів

Удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиного алгоритму. Отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Удосконалено прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Практичне значення отриманих теоретичних результатів підтверджено підвищенням якості обробки оптико-електронних зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження та полягає у розробці прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Отримані практичні результати підтверджені актами реалізації та впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертації, високу якість розроблених методів та інформаційної технології.

Ключові слова: мурашині алгоритми, сегментування, зображення, бортова система, багатомасштабна обробка, інформаційна технологія, об'єкт інтересу, помилки першого та другого роду, ентропія, відстань Кульбака-Лейблера.

АННОТАЦИЯ

Худов В.Г. Методы тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения на основе муравьиных алгоритмов. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача разработки методов тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения на основе муравьиных алгоритмов. Получены новые научные результаты:

– усовершенствован метод тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения на основе муравьиного алгоритма, в котором, в отличие от известных, учтены особенности формирования изображения, для тематической сегментации применяется муравьиный алгоритм, а сегментация изображения сведена к расчету целевой функции, совокупности участков движения агентов, концентрации феромона на маршрутах движения агентов, что повышает качество обработки изображений;

– получил дальнейшее развитие многомасштабный метод обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения, в котором, в отличие от известных, тематическая сегментация изображений с разным значение масштаба проводится на основе муравьиного алгоритма, осуществляется перемасштабирование сегментированных изображений с разным значение масштаба к исходному размеру и рассчитывается изображение-фильтр, а результирующее сегментированное изображение есть попиксельное произведение исходного изображения и изображения-фильтра, что снижает ошибки 1 и 2 рода и повышает информационные показатели тематической сегментации изображений;

– усовершенствована прикладная информационная технология тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения, в которой, в отличие от известных, предусматривается определение количества и масштабности изображений, цветового пространства представления изображений, выделение каналов яркости каждого цветового пространства, применение для тематической сегментации изображений методов на основе муравьиных алгоритмов.

Практическое значение полученных теоретических результатов подтверждается повышением качества обработки оптико-электронных изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения и заключается в разработке прикладной информационной технологии тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Полученные практические результаты подтверждаются актами реализации и внедрения и свидетельствуют о корректности теоретических положений диссертации, высоком качестве разработанных методов и информационной технологии.

Внедрение разработанных в диссертационной работе методов тематической сегментации изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения на основе муравьиных алгоритмов в модернизацию существующих и разработку перспективных систем обработки изображений позволит повысить качество обработки оптико-электронных изображений.

Полученные в диссертационной работе научные результаты могут быть использованы: в научно-производственных организациях промышленности при

проектировании и разработке новых систем и комплексов обработки изображений; в высших учебных заведениях Украины, занимающихся подготовкой специалистов по обработке изображений. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при обработке изображений в перспективных бортовых системах оптико-электронного наблюдения, разрабатываемых в Украине, а именно: в наземном специальном комплексе при обработке оптико-электронных изображений; в комплексе программно-технического управления геопространственными данными; на рабочем месте интерпретатора-дешифровщика при разработке алгоритмов и специальных вычислительных средств.

Ключевые слова: муравьиные алгоритмы, сегментация, изображение, бортовая система, многомасштабная обработка, информационная технология, объект интереса, ошибки первого и второго рода, энтропия, расстояние Кульбака-Лейблера.

ABSTRACT

Khudov V.H. Methods of thematic segmentation of images from on-board optical and electronic surveillance systems based on ant colony optimization algorithms. – Qualifying scientific work on the manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Science (Doctor of philosophy) in specialty 05.13.06 "Information technologies" (05 – technical sciences). – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

In the thesis the actual scientific task of working out of methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optoelectronic observation on the basis of ant algorithms is solved.

The method of thematic segmentation of images from on-board systems of optoelectronic observation on the basis of a ant algorithm is improved. Received a further development of the method of large-scale image processing from on-board systems of optoelectronic observation, in which, unlike the known, thematic segmentation of images with different scale values is carried out by an ant colony algorithm, re-scaling of segmented images with different scale values to the original size and the image filter is calculated and the resulting segmented image is the result of the pixel product of the original image and the image filter, which reduces errors and increases the informational indicators of thematic segmentation of images. The applied information technology for the thematic segmentation of images from on-board systems of optoelectronic observation is improved.

The introduction of the methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optoelectronic observation on the basis of ant algorithms in the modernization of existing and the development of perspective image processing systems will improve the quality of the processing of optical-electronic images, developed in the dissertation.

Keywords: ant colony optimization algorithms, segmentation, image, on-board system, large-scale processing, information technology, object of interest, errors of the first and second kind, entropy, distance of Kulbak-Leibler.