

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХУДОВ ВЛАДИСЛАВ ГЕННАДІЙОВИЧ

УДК 004.932 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.13.06 – інформаційні технології
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.Г.Худов

Науковий керівник

Рубан Ігор Вікторович, доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

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.

Об'єктом дослідження є процес тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Предметом дослідження є методи тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.

Метою роботи є підвищення якості обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження 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 оптико-електронних зображень;
- удосконалити метод тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження;
- розробити метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження;
- удосконалити прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– провести порівняльну оцінку якості методів тематичного сегментування на основі мурашиних алгоритмів та відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження в умовах впливу спотворюючих факторів;

– реалізовувати методи тематичного сегментування зображень в програмно-апаратних комплексах обробки оптико-електронних зображень.

Дослідження базується на критичному аналізі відомих методів та інформаційних технологій тематичного сегментування оптико-електронних зображень. При розробці методу тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження 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 оптико-електронного спостереження використовувалися методи цифрової обробки зображень, математичного моделювання, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження.

В дисертаційній роботі удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження 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.

Отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, 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.

Удосконалено прикладну інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, 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.

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 швидкодією" (№ 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).

Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи 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. 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.

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 оптико-електронного спостереження, що розробляються в Україні, а саме: у наземному спеціальному комплексі при обробці оптико-електронних зображень; 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.

Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиних алгоритмів в модернізацію існуючих і розробку перспективних систем обробки зображень дозволить підвищити якість обробки оптико-електронних зображень, 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%).

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

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати.

1. Худов В.Г. Научные 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. Мультиагентний 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. Р. 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. *Радиоэлектроника 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 optical-electronic 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 optical-electronic 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.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

1. 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.Є.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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Маковейчук О.М., Сердюк О.В. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. An improved method for segmentation of a multiscale sequence of optical-electronic 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).

14. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. A swarm method for segmentation of images obtained from on-board optical-electronic 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).

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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 "ХПІ", ДП "ХНДІ ТМ"; Жиліна: Університет міста Жиліна, 2018. С. 58.

21. 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.

ANNOTATION

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

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

The actual scientific task of developing methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation on the basis of ant algorithms is solved in the thesis.

The object of research is the process of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation. The subject of research is the methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation.

The aim of the work is to improve the quality of processing of images from on-board systems of optical-electronic observation by applying methods of thematic segmentation of images based on ant algorithms.

To achieve the aim of the thesis, the following tasks need to be addressed:

- to carry out the analysis of known methods and information technologies for the thematic segmentation of optical-electronic images;
- to improve the method of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation;
- to develop a method of large-scale image processing from on-board systems of optical-electronic observation;
- to improve the applied information technology of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation;

– to conduct a comparative evaluation of the quality of methods of thematic segmentation based on ant algorithms and known methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation under the influence of distorting factors;

– to implement methods of thematic segmentation of images in software and hardware complexes for the processing of optical-electronic images.

The research is based on a critical analysis of known methods and information technologies for the thematic segmentation of optical-electronic images. In the development of the method of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation, the method of large-scale image processing from on-board systems of optical-electronic observation, applied information technology, thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation, methods of probability theory, mathematical statistics, data clustering, evolutionary calculus, quantum methods, mathematical apparatus of the theory of matrices, methods of differential calculus, mathematics digital modeling, digital imaging, mathematical logic, information technology, optimization theory were used. Methods for digital imaging, mathematical modeling, analytical and empirical methods of comparative research were used to assess the quality of the methods of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation.

In the thesis the method of thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation on the basis of an ant algorithm is improved, which, unlike the known ones, takes into account the peculiarities of image formation, the ant algorithm is used for thematic segmentation, and the segmentation of the image is reduced to the calculation of the target function, the totality the areas of motion of agents, the concentration of pheromone on the routes of agents, which increases the quality of image processing.

The further development of the method of large-scale image processing from on-board systems of optical-electronic observation, in which thematic

segmentation of images with different scale values is made on the basis of an ant algorithm, unlike in the known ones, and the scaling of segmented images with different scale values to the original size and filter image is calculated, and the resulting segmented image is a pixel-by-pixel product of the original image and filter image, which reduces errors and increases information indicators of thematic segmentation of images.

The applied information technology for the thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation is improved, which, unlike the known ones, are supposed to determine the quantity and magnitude of images, the color representation of images, the allocation of the brightness channels of each color space, the application for the thematic segmentation of image-based methods on the basis ant algorithms.

The thesis work was performed in accordance with the plan of scientific and technical activity of the Kharkiv National University of Radio Electronics within the framework of the state budget "Research Methods, Systems and Means of Cryptographic Information Security with Guaranteed Level of Resistance and High Performance" (№ DR 0115U002431), Economic Contract № 17-13 "Development of models, mechanisms, methods and means of symmetric encryption and gestation, methods for evaluating their resilience", the code "Sustainability" (№ DR 0118U003807), the plan of scientific and technical activity of Kharkiv National University of Air Forces named after Ivan Kozhedub within the frameworks of state budget research "Creating a software module for the processing of heterogeneous and time-based data obtained from optical-electronic means of unmanned aerial vehicles and satellite systems" the code "Mosaic-PS" (№ DR 0101U002020), "Investigation of capabilities latent data transmission in the information telecommunication network" the code "Steganography" (№ DR 0101U00284).

The practical significance of the obtained theoretical results of the thesis is confirmed by the improvement of the quality of processing optical-electronic images from on-board systems of optical-electronic observation and consists in

the development of applied information technology for the thematic segmentation of images from on-board systems of optical-electronic observation. The results of the thesis are introduced and implemented: at the National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv; in the State Ecology Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv; in the specialized software and hardware complex of information processing of the military unit A0515, Kyiv; in the research and development company "Adron", Kyiv; in the course of research exercises in the segmentation of complex structures in the military part of A2183, Pervomaysk; in the course of exploratory exercises in the segmentation of a large-scale sequence of complex structured images in the military unit A4465, Mykolaiv; in the State Enterprise "Central Design Office "Proton", Kharkiv.

The scientific results obtained in the dissertation can be used: in research organizations in substantiating tactical and technical requirements for perspective image processing systems; in research and production organizations of the industry at designing and developing new systems and complexes of image processing; in higher educational institutions of Ukraine, engaged in the training of specialists in the processing of images.

The results of the thesis can be used in the processing of images in perspective on-board systems of optical-electronic observation that are being developed in Ukraine, for example: in the terrestrial special complex during processing of optical-electronic images; in the complex of software and technical management of geospatial data when creating, editing, storing and publishing a centralized database of vector and raster data with the possibility of using various geographic information services, managing flows of geographic information data; in the workplace of the interpreter-decoder in the development of algorithms and special computing tools.

Implementation of the methods of information technology developed in the dissertation in the thematic segmentation of the on-board systems of optical-electronic observation in modernization of existing and development of

promising imaging systems will allow to improve the quality of image processing, for example:

- to reduce segmentation errors of the first and second type from 8% to 19%;

- to improve the quality of the segmented image without the influence of distorting factors (improvement in the information indicators: Kullback-Leibler divergence – from 5% to 13%, the entropy of the segmented image – from 6% to 16%);

- to improve the quality of the segmented image under the influence of distorting factors (improvement in the information indicators: Kullback-Leibler divergence – from 7% to 16%, the entropy of the segmented image – from 8% to 18%).

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

List of publications where main scientific results were published:

1. Худов В.Г. Научно-технические 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. Р. 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 optical-electronic 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 optical-electronic 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.

List of publications confirming the approbation of materials thesis.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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, НЦУБКЗ, 2017. С. 109–110.

13. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. An improved method for segmentation of a multiscale sequence of optical-electronic 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).

14. Ruban I., Khudov V., Khudov H., Khizhnyak I. A swarm method for segmentation of images obtained from on-board optical-electronic 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).

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Соломоненко Ю.С., Маковейчук О.М. Тематичне сегментування оптико-електронного зображення методом ройового інтелекту (штучної бджолиної 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.

20. 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 "ХПІ", ДП "ХНДІ ТМ"; Жиліна: Університет міста Жиліна, 2018. С. 58.*

21. 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.*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ANNOTATION.....	14
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	30
ВСТУП.....	32
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	49
1.1 Основні етапи ведення спостереження та вимоги до якості обробки зображень.....	49
1.1.1 Основні етапи ведення спостереження з бортових оптико- електронних систем.....	49
1.1.2 Вимоги до якості зображень з бортових систем оптико- електронного спостереження.....	51
1.2 Основні етапи обробки оптико-електронних зображень та рівні локалізації об'єктів інтересу на етапі розпізнавання.....	56
1.3 Відомі методи тематичного сегментування оптико- електронних зображень.....	59
1.3.1 Класифікація методів сегментування оптико- електронних зображень.....	61
1.3.2 Універсальна класифікація методів сегментування оптико-електронного зображення.....	67
1.3.3 Стислий аналіз відомих робіт, що присвячені розробці методів сегментування оптико-електронних зображень.....	71
Висновки до розділу 1.....	75
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	79

	27
2.1 Використання метаевристичних методів для вирішення оптимізаційних задач.....	80
2.2 Використання генетичних методів для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження.....	83
2.3 Використання ройових методів для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження.....	86
2.3.1 Узагальнений ройовий метод.....	87
2.3.2 Використання методу рою частинок для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження.....	90
2.3.3 Використання методу штучної бджолоїної колонії для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження.....	95
2.3.4 Використання мурашиного методу для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження.....	96
2.4 Порівняльна оцінка ройових оптимізаційних методів.....	97
2.5 Завдання дослідження.....	100
Висновки до розділу 2.....	100
РОЗДІЛ 3 МЕТОД ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	104
3.1 Особливості формування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження.....	104
3.2 Математичне формулювання завдання тематичного сегментування оптико-електронного зображення з бортової системи спостереження.....	108
3.3 Сутність методу тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиного алгоритму.....	110
3.4 Тематичне сегментування тонових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	120

3.5 Тематичне сегментування кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	122
3.6 Тематичне сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів.....	131
3.7 Дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу на оптико-електронних зображеннях.....	135
Висновки до розділу 3.....	140
РОЗДІЛ 4 МЕТОД БАГАТОМАСШТАБНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	144
4.1 Підходи до аналізу багатомасштабної інформації у вигляді оптико-електронних зображень різного масштабу.....	144
4.2 Сутність багатомасштабного перетворення оптико-електронних зображень різного масштабу.....	145
4.3 Сутність методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	148
4.4 Багатомасштабна обробка тонових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	151
4.5 Багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	155
4.6 Багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження з застосуванням методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів.....	167
Висновки до розділу 4.....	175
РОЗДІЛ 5 ПРИКЛАДНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	178
5.1 Структура прикладної інформаційної технології тематичного	

сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	178
5.2 Функціональна структура програмно-технічних засобів реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	186
5.3 Структура алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	189
5.4 Особливості реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження у програмно-технічному комплексі управління геопросторовими даними.....	194
5.5 Показники якості методів прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	197
5.6 Порівняльна оцінка якості методів прикладної інформаційної технології та відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.....	200
Висновки до розділу 5.....	216
ВИСНОВКИ.....	220
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	225
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	255
ДОДАТОК Б Акти про реалізацію і впровадження результатів дисертаційної роботи.....	266
ДОДАТОК В Сутність деяких відомих методів сегментування оптико-електронного зображення.....	280

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АБГШ	– адитивний білий гаусовий шум;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
АТО	– антитерористична операція;
БПЛА	– безпілотний літальний апарат;
ВТМ	– вихідна точка маршруту;
ГІС	– геоінформаційний сервіс;
ЕОМ	– електронна обчислювальна машина;
ДІКМ	– диференційна імпульсно-кодова модуляція;
ДЗЗ	– дистанційне зондування Землі;
ДР	– державна реєстрація;
КА	– космічний апарат;
КТМ	– кінцева точка маршруту;
НДР	– науково-дослідна робота;
ОЕЗ	– оптико-електронне зображення;
ОЕС	– оптико-електронне спостереження;
ООС	– операція Об'єднаних сил;
ОЗП	– оперативний запам'ятовуючий пристрій;
ПАК	– програмно-апаратний комплекс;
ПЕОМ	– персональна електронна обчислювальна машина;
ПЗЗ	– прилад з зарядовим зв'язком;
ПТК	– програмно-технічний комплекс;
ПТМ	– поворотна точка маршруту;
СКВ	– середнє квадратичне відхилення;
УГПД	– управління геопросторовими даними;
АСО	– ant colony optimization;
CASE	– Computer-Aided Software Engineering;

ICAM	– Integrated Computer Aided Manufacturing;
IDEF0	– ICAM Definition;
IITSI	– Intelligent information technology for the thematic segmentation of images;
IoU	– Intersection over Union;
RGB	– Red-Green-Blue;
SADT	– Structured Analysis & Design Technique;
TSP	– Travelling Salesman Problem;
UML	– Unified Modeling Language;
WCS	– Web Coverage Service;
WFS	– Web Feature Service;
WMS	– Web Map Service;

ВСТУП

Актуальність теми. На цей час інформаційні технології обробки даних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) використовуються у багатьох областях: моніторинг та оцінка стану зовнішнього середовища (аналіз розвитку міської інфраструктури, контроль за небезпечними відходами виробництва); спостереження за глобальними змінами (виснаження озонового шару атмосфери, збезлісіння, глобальне потепління); сільське господарство (аналіз стану сільськогосподарських культур, прогноз врожаю, дослідження ерозії ґрунтів); видобуток корисних копалин (мінералів, нафти, природного газу); спостереження за поновлюваними природними ресурсами (заболочені території, ґрунти, ліси, океани); метеорологія (дослідження динаміки атмосфери, прогноз погоди); картографія (топографія, землекористування, цивільне будівництво); військова область: розвідка і рекогносцировка (стратегічні завдання, тактичний аналіз) тощо [1]–[4]. Основними засобами ведення спостереження в системах ДЗЗ є безпілотні літальні апарати (БПЛА) та космічні системи [1]–[4]. Так, наприклад, досвід останніх збройних конфліктів, гібридних війн, ведення антитерористичної операції (АТО) та операції Об'єднаних сил (ООС) на території Донецької та Луганської областей України показує, що за допомогою інформації БПЛА та космічних систем спостереження може бути вирішено [5]–[7]: 80–85 % завдань спостереження, 50–60 % завдань по забезпеченню охорони, 40–50 % по забезпеченню бойового ураження.

Зростання потреби у даних з бортових систем оптико-електронного спостереження (ОЕС) при вирішенні різномірних завдань супроводжується [4], [7]–[9]:

– постійним збільшенням загального обсягу і доступності інформації з бортових систем ОЕС;

- збільшенням інформації з високою розрізненістю;
- впровадженням при вирішенні завдань інформаційного забезпечення комплексного використання даних від різних джерел;
- збільшенням кількості суб'єктів у сфері отримання, розповсюдження, обробки та застосування даних з бортових систем спостереження.

В сучасних умовах до інформації з бортових систем ОЕС висуваються жорсткі вимоги по достовірності, оперативності та якості. У зв'язку з цим проводиться постійне удосконалення як спеціалізованої знімальної апаратури, так й носіїв, і, як слідство, збільшення потоку інформації [10]–[13].

Процес отримання оптико-електронного зображення (ОЕЗ) супроводжується впливом таких негативних факторів, як рух та вібрація знімальної апаратури, ненормовані умови освітлення, різного роду спотворення, перешкоди при передачі даних та інше [3]–[4], [10], [12]–[13]. В таких умовах актуальним є питання якісної обробки ОЕЗ.

Відомо [1]–[4], [14]–[17], що в теперішній час не існує загальної теорії оптимального представлення та обробки зображень з бортових систем спостереження. Вибір конкретної технології обробки зображень залежить від задач, що вирішуються, та вимог, що висуваються до результату обробки. Складність обробки зображень обумовлена [3]–[4], [14]–[17]:

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

Одним з найбільш складних та важливих етапів обробки таких зображень є їх дешифрування [1]–[2], [13], [15]–[18]. Дешифрування базується на знаннях закономірностей відтворення властивостей об'єктів інтересу на зображеннях, особливостей їх статистичних характеристик

(сигнатур), геометричної форми, розміщення на місцевості. Процедурно дешифрування включає виявлення, класифікацію та інтерпретацію об'єктів і місцевості [15]–[20]. Під виявленням розуміється процес або результат пошуку та сприйняття об'єктів інтересу на початковому етапі дешифрування зображень. При цьому на зображенні локалізуються ділянки, де найбільш імовірно розташовані об'єкти інтересу. Під класифікацією розуміється процес машинного аналізу об'єктів інтересу (образів) та їх ознак на зображеннях з метою визначення належності об'єкта інтересу до певного класу [17], [19]. В процесі заключного етапу дешифрування – етапу інтерпретації, проводяться аналіз та узагальнення кількісних та якісних характеристик (ознак) об'єкта інтересу з метою встановлення його стану, значущості та можливостей в конкретній обстановці [17], [19]. Етап інтерпретації покладається на оператора-дешифрувальника для остаточного прийняття рішення та в дисертаційній роботі не розглядається.

Відомо [13], [15]–[17], [21]–[25], що основною операцією, від якості якої залежить результат дешифрування ОЕЗ, є тематичне сегментування ОЕЗ. Тому, у дисертаційній роботі основна увага приділяється етапу 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 [15], [17]–[19] 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).

Дешифрування ОЕЗ з бортових систем спостереження розглянуто в багатьох роботах, наприклад, [1]–[3], [14]–[17], [26]–[45]. Вказані роботи відрізняються формулюванням наукової проблеми або наукового завдання,

методами дослідження, критеріями та показниками оцінки якості. Вказаних роботах завдання тематичного сегментування ОЕЗ або взагалі не розглядаються, або обмежуються відомими методами 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. Однією з причин неможливості прямого застосування є те, що відомі методи не достатньо враховують особливості формування зображень з бортових системах ОЕС та мають наступні 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;
- більшість методів не визначають границь об'єктів інтересу та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів інтересу;
- проведення сегментування лише по критерію рівня яскравості точки зображення, що не дає можливості визначати критерії гомогенності сегментів.

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 вказаного 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.

Актуальність розробки методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів також обумовлена [1], [4], [33], [35]–[36], [39]–[40], [45]:

– удосконаленням спеціального математичного та програмного забезпечення для автоматизації найбільш складних етапів обробки інформації спостереження;

– зменшенням часу обробки і підвищенням достовірності результуючих документів;

– інтелектуалізацією процесів обробки даних (детальне спостереження об'єктів інтересу, вирішення масштабних тематичних завдань для значних територій).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Базовими для підготовки і подання дисертаційної роботи є науково-дослідні роботи (НДР): держбюджетні НДР – "Методи, системи і засоби криптографічного захисту інформації з гарантованим рівнем стійкості та підвищеною швидкодією" (№ державної реєстрації (ДР) 0115U002431), "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 0101U002484); господарсько-договірна НДР № 17-13 "Розробка моделей, механізмів, методів та засобів симетричного шифрування та гешування, методи оцінювання їх стійкості" шифр "Стійкість"

(№ ДР 0118U003807), які виконувались в Харківському національному університеті радіоелектроніки та в Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, в яких основні наукові результати дисертаційної роботи використані у повному обсязі.

В НДР "Методи, системи і засоби криптографічного захисту інформації з гарантованим рівнем стійкості та підвищеною швидкістю" здобувачем в системі криптографічного захисту інформації запропоновано метод сегментування кадру загального відеопотоку з бортових систем спостереження на основі мурашиних алгоритмів в умовах обмеження часових, дослідницьких і обчислювальних ресурсів. Результати реалізовані в освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки.

В НДР "Створення програмного модуля обробки різномірних і різночасових даних, отриманих від оптико-електронних засобів безпілотних літальних апаратів та супутникових систем" здобувачем запропоновано метод тематичного сегментування ОЕЗ з БПЛА та супутникових систем, метод багатомасштабної обробки ОЕЗ з БПЛА та супутникових систем на основі мурашиних алгоритмів та прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування ОЕЗ з БПЛА та супутникових систем, розроблено експериментальний програмний модуль обробки різномірних і різночасових даних оптико-електронних систем спостереження БПЛА та супутникових систем, який забезпечує підвищення ефективності обробки матеріалів видового спостереження за рахунок удосконалення етапу тематичного сегментування. Результати реалізовані в роботі органів управління при фундаментальних теоретичних дослідженнях та практичних розробках програмних продуктів обробки даних космічної та висотної аерофотозйомки.

В НДР "Дослідження можливостей прихованої передачі даних в інформаційній телекомунікаційній мережі" здобувачем запропоновано методика прихованої передачі зображень в інформаційній

телекомунікаційній мережі, складовою частиною якої є метод тематичного сегментування зображень, в основу якого покладені мурашині алгоритми. Результати реалізовані в освітньому процесі Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

В НДР "Розробка моделей, механізмів, методів та засобів симетричного шифрування та гешування, методи оцінювання їх стійкості" здобувачем при розробці моделі симетричного шифрування та гешування запропоновано метод багатомасштабної обробки зображень на основі мурашиних алгоритмів. Результати реалізовані в приватному акціонерному товаристві "Інститут інформаційних технологій".

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.

Показниками якості тематичного сегментування зображень в дисертаційній роботі обрано помилки тематичного сегментування першого та другого роду, інформаційні показники – відстань Кульбака-Лейблера та ентропія сегментованого зображення.

Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- 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;

– реалізовувати 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. При виконанні дисертаційної роботи використовувалися наступні методи:

– при аналізі відомих методів та інформаційних технологій тематичного сегментування ОЕЗ – математичні методи порівняння зображень, методи цифрової обробки зображень;

– 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 – методи теорії ймовірності, методи математичної статистики, ройові методи, методи кластеризації даних, методи еволюційних обчислень, математичний апарат теорії матриць, методи диференційного числення, методи математичного моделювання, методи цифрової обробки зображень, методи математичної логіки, методи створення інформаційних технологій, методи теорії оптимізації;

– для оцінки якості методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС – методи цифрової обробки зображень, методи математичного моделювання, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження.

При проведенні дослідження автор опирався на фундаментальні роботи в області обробки зображень У.Претта [46], Д.Канні [47], Р.Бейтса та Мак-Доннела [48], В.А.Сойфера [49], Р.Гонсалеса та Р.Вудса [50],

Л.П.Ярославського [51], А.А.Потапова [52] та інших, в області ройового інтелекту Г.Бені [53]–[55], Е.Бонабеу [56], Д.Кеннеді [57], Е.Сахіні [58] та інших, в області мурашиних оптимізаційних методів М.Доріго [59]–[63], Т.Штюцля [61], [64], Л.М.Гамбарделла [62]–[63], [65], Б.Холлдоблера [66], С.Д.Штовби [67]–[68] та інших. Досягненню мети дисертаційної роботи сприяла опора на прикладні роботи С.О.Суботіна [41]–[42], [69], Е.В.Аймана, Х.Янга, Д.С.Суру [70], Ю.А.Скобцова [71]–[72], Т.А.Махно [73]–[74], В.М.Курейчика [75]–[77], А.В.Пантелєєва [78]–[79], М.О.Попова [32], [36], [45], [80]–[81], І.В.Рубана [29], В.В.Баранніка [30], К.С.Смелякова [31], В.П.Машталіра [82]–[83], С.В.Машталіра [82]–[84], Є.П.Путятіна [85], В.О.Гороховатського [86], С.І.Богучарського [87], О.М.Маковейчука [88], І.А.Хижняк [89] та інших.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

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 результатів роботи 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 (акт про впровадження Національного центра управління та випробувань космічних засобів, м. Київ від 01.06.2018);

– в науково-дослідній роботі "Створення карт лісових масивів з використанням даних з супутника "Січ-2" на прикладі Рівненської області" (шифр "GEO-Ukraine-Ліс") при відпрацюванні сучасних підходів до обробки космічних знімків в інтересах реалізації екологічного моніторингу (акт про впровадження Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, м. Київ від 28.02.2018);

– у спеціалізованому програмно-апаратному комплексі обробки інформації у вигляді алгоритмів і програм робочого місця інтерпретатора-дешифрувальника (акт про реалізацію військової частини А0515, м. Київ від 30.05.2018);

– при обґрунтуванні технічних характеристик перспективних систем озброєння, а саме: систем обробки ОЕЗ в оптико-електронних станціях бортових комплексів оборони літальних апаратів; оптико-електронного каналу системи керування блоку аеродинамічного керування "Адрос" БАУ-01КТ (акт товариства з обмеженою відповідальністю науково-виробничої фірми "Адрон", м. Київ від 31.07.2017);

– в ході дослідницьких навчань при сегментуванні складноструктурованих зображень, що отримані з бортових систем спостереження, в інтересах охорони і оборони позиції (акт військової частини А2183, м. Первомайськ від 27.12.2017);

– в ході дослідних навчань при сегментуванні багатомасштабної послідовності складноструктурованих зображень, що отримані з борту літального апарату ОЕС, в інтересах охорони і оборони позиції (акт військової частини А4465, м. Миколаїв від 29.03.2018);

– при вдосконаленні системи розпізнавання класів радіосигналів Пристрою радіомоніторингу КХ діапазону "Сектор" (акт Державного підприємства "Центральне конструкторське бюро "Протон", м. Харків від 28.12.2017).

Акти про впровадження та реалізацію результатів дисертаційної роботи наведені в додатку Б.

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути використані:

– в організаціях, що є замовниками науково-технічної продукції та 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.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані 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 (ГІС), управління потоками геоінформаційних даних;

– на робочому місці інтерпретатора-дешифрувальника при розробці алгоритмів та спеціальних обчислювальних засобів.

Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС 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%).

Особистий внесок здобувача. Наукові результати дисертаційної роботи сформульовані і отримані автором самостійно. Наукові праці [90]–[93] опубліковані без співавторів. Окремі етапи дослідження були виконані у співпраці. Результати цих етапів дослідження відображені у наукових працях, що опубліковані в співавторстві, – [94]–[109]. Ступінь особистого внеску автора в отриманні результати можна оцінити таким чином:

– в [94] автором визначені недоліки відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, запропоновано удосконалення методу сегментування тонових ОЕЗ;

– в [95] автором проаналізовані методи сегментування, які не базуються на машинному навчанні, запропоновано використання ройових алгоритмів для сегментування ОЕЗ;

– в [96] автором 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;

– в [97] автором 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;

– в [98] автором запропоновано при сегментуванні кольорових ОЕЗ перехід до кольорової моделі з явно вираженим каналом яскравості;

– в [99] автором 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 ефективності методу тематичного сегментування використовувати інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейблера;

– в [100] автором визначені комплексні показники оцінки малих ("сміттєвих") областей на зображенні та проведено розрахунок відстані Кульбака-Лейблера сегментованого зображення при зміні масштабу вихідного зображення;

– в [101] автором запропоновано метод багатомасштабної обробки зображень з різним значенням масштабу з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів, проведено розрахунок зображення-фільтра;

– в [102] автором запропоновано у якості ядра багатомасштабного перетворення використовувати гаусіан з відповідним значенням

масштабного коефіцієнта, проведені експериментальні дослідження щодо сегментування ОЕЗ з різним значенням масштабу;

– в [103] автором 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;

– в [104] автором удосконалена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, проведено сегментування зображення з бортової системи ОЕС;

– в [105] автором 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;

– в [106] автором 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;

– в [107] автором 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);

– в [108] автором проведені експериментальні дослідження щодо тематичного сегментування ОЕЗ з різним значенням масштабу удосконаленим методом багатомасштабної обробки;

– в [109] автором виділені основні ознаки якісного сегментування, запропоновано використання генетичних алгоритмів та методу багатомасштабної обробки ОЕЗ.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційного дослідження апробовані на 21 науковій, науково-технічній, науково-практичній 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.) [110]; 13-й та 14-й наукових конференціях "Новітні технології – для захисту повітряного простору" (м. Харків, 2017–2018 рр.) [111]–[112]; 7-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" (м. Полтава–Баку–Кропивницький–Харків, 2017 р.) [113]; Міжнародних науково-технічних конференціях "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ" (м. Львів, 2017–2018 рр.) [114]–[115]; VII Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій" (м. Запоріжжя, 2016 р.) [116]; 4-й Всеукраїнській конференції "Спільні дії військових формувань та правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи" (м. Одеса, 2017 р.) [117]; III Всеукраїнській науково-технічній конференції "Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування" (м. Тернопіль, 2017 р.) [118]; XXXIV Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку" (м. Переяслав-Хмельницький, 2017 р.) [119]; 6-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні системи і технології ИСТ-2017", присвяченій 80-річчю В. В. Свірідова (м. Коблево–Харків, 2017 р.) [120]; науково-практичній конференції "Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи" (м. Київ, 2017 р.) [121]; 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.) [122]–[123]; 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.) [124]; X Всеукраїнській науково-практичній конференції "Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України" (м. Хмельницький, 2017 р.) [125]; 5-й Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми інформатизації" (м. Черкаси–Баку–Бельсько–Бяла–Полтава, 2017 р.) [126]; науково-практичній конференції "Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності" (м. Львів, 2017 р.) [127]; 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.) [128]; 8-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" (м. Полтава–Баку–Харків–Жиліна, 2018 р.) [129]; Міжнародній науково-практичній конференції "The development of technical sciences: problems and solutions" (м. Брно, 2018 р.) [130].

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій роботі, серед яких 19 наукових статей [90]–[108] (18 статей опубліковані у виданнях з технічних наук, включених в "Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата наук" [90]–[107], 1 стаття опублікована у зарубіжному науковому періодичному виданні [108], 18 статей – в наукових виданнях, 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, з них 15 – в спеціалізованих наукових журналах [90]–[91], [93]–[100], [102]–[107], 2 – в спеціалізованих збірниках наукових праць [92], [101], серед яких 4 статті написані без співавторів [90]–[93]), 21 теза доповідей у матеріалах наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях [110]–[130], в тому числі 12 тез – на міжнародних конференціях [110], [113]–[116], [120], [122]–[124], [126], [129]–[130] (матеріали двох науково-практичних конференцій індексуються міжнародними наукометричними базами IEEE Xplore та Scopus [122]–[123]). Матеріали дисертаційної роботи були використані при розробці колективної монографії [109] та 5 звітів про НДР [131]–[135].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, п'ять 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.

Список використаних джерел у вступі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [1]–[135].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У даному розділі проведено аналіз стану та перспектив розвитку бортових систем ОЕС, проаналізовані сучасні вимоги до якості обробки зображень з бортових систем ОЕС, проведено аналіз основних етапів дешифрування зображень. Встановлено, що одним з основних етапів обробки зображення є етап тематичного сегментування.

Стисло, критично висвітлені роботи попередників, що присвячені розробці методів сегментування зображень, окреслені основні етапи розвитку наукової думки щодо вирішення завдання сегментування ОЕЗ та вирішенні питання, що залишилися невирішеними. Сформульовані завдання дослідження. Матеріали розділу викладені в роботах [90], [92], [94]–[95], [103].

1.1 Основні етапи ведення спостереження та вимоги до якості обробки зображень

1.1.1 Основні етапи ведення спостереження з бортових оптико-електронних систем

Відомо [1]–[2], [4], [13], [20], [25], що основними перевагами космічних та повітряних систем спостереження при вирішенні різних завдань є:

- дистанційне ведення спостереження;
- висока інформативність даних спостереження;
- оперативність отримання даних спостереження;

– забезпечення необхідної точності визначення координат об'єктів інтересу.

Основні етапи ведення спостереження з бортових оптико-електронних систем наведені на рис. 1.1 [26], а узагальнена структура системи збору, обробки та зберігання даних з бортової системи ОЕС схематично наведена на рис. 1.2 [136]–[137].



Рисунок 1.1 – Основні етапи ведення спостереження з бортових оптико-електронних систем [26]

Проаналізуємо основні вимоги до якості зображень з бортових систем ОЕС для вирішення завдань на основних етапах ведення спостереження (рис. 1.1).

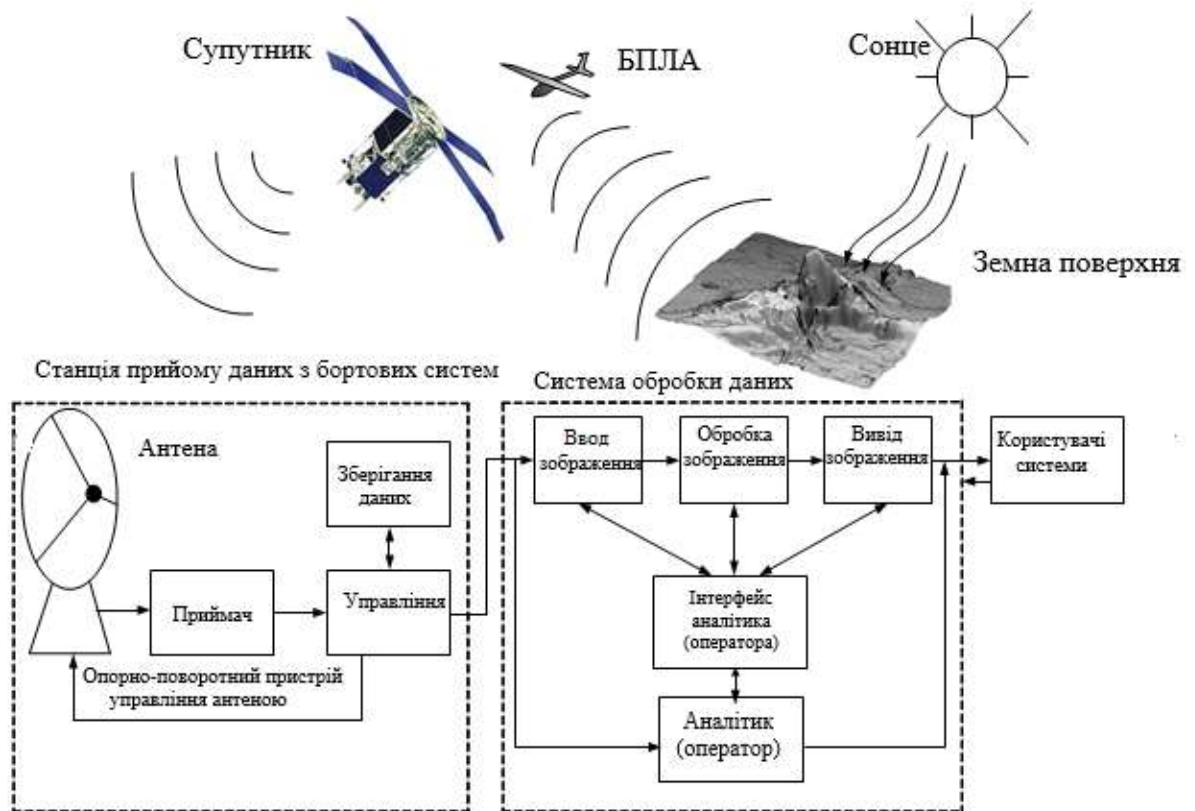


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура системи збору, обробки та зберігання даних з бортової системи ОЕС [136]–[137]

1.1.2 Вимоги до якості зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

Для вирішення різноманітних завдань потрібна висока інформативність даних спостереження, що забезпечується формуванням ОЕЗ з високою просторовою розрізнявальною здатністю [3]–[4], [18], [32]–[34]. Просторова лінійна розрізнявальна здатність визначає детальність ОЕЗ – інформаційну спроможність забезпечувати рішення цільових завдань [32]–[33]. Вимоги до розрізнявальної здатності наведені в табл. 1.1 [32]–[33]. Взагалі до результатів дешифрування висуваються наступні основні вимоги: оперативність і ретельність обробки зображення, об’єктивність оцінки зображення, достовірність результатів дешифрування [33], [40].

Таблиця 1.1 – Вимоги до розрізнявальної здатності, що необхідні для дешифрування об'єктів інтересу [32]–[33]

Об'єкти інтересу	Необхідна лінійна розрізненість, м			
	виявлення	розпізнавання		
		вид	клас	тип
Ракетні комплекси	3,0	1,5	0,6	0,3
Артилерійські системи	0,9	0,6	0,15	0,05
Аеродроми	20,0	15,0	10,0	5,0
Літальні апарати	13,0	4,5	3,5	2,5
Бойова і транспортна техніка	1,5	0,5	0,3	0,05
Військові підрозділи	6,0	2,1	1,2	0,3
Штаби і пункти управління	1,5	0,9	0,3	0,15
Радіолокаційні станції	3,0	0,9	0,3	0,15
Морські порти	30,0	15,0	6,0	3,0
Кораблі	20,0	15,0	10,0	5,0
Залізничні станції	30,0	15,0	6,0	1,5
Населені пункти	60,0	6,0	3,0	3,0
Дороги	9,0	6,0	1,8	0,15
Мости, переправи	6,0	4,5	1,5	0,9

Оперативність обробки зображення полягає в швидкому, без затримок дешифруванні зображення, визначенні координат об'єктів інтересу, виготовленні документів і представленні їх до встановленого терміну. Об'єктивність оцінки зображення є чинником, який сприяє отриманню найбільш достовірних даних про об'єкт інтересу. Ретельність обробки зображення полягає в перегляді усього поля зображення з урахуванням характеру місцевості, недопущенні пропуску об'єктів інтересу і помилок у вимірах і розрахунках, а також в акуратності виготовлення документів. Достовірність результатів дешифрування – це істинність відомостей, що видаються оператором-дешифрувальником, правильність відображення суті об'єкту й обстановки, що склалася на місцевості, точність кількісних і якісних характеристик окремих елементів

та об'єкту в цілому [19], [29], [39]–[40]. На достовірність впливають численні чинники – інформативність зображення, рівень знань і навичок оператора-дешифрувальника, умови і тривалість роботи, наявність і використання технічних засобів, зокрема засобів автоматизації. Достовірність розпізнавання компактних (точкових) об'єктів інтересу характеризується наступними показниками [138]–[141]:

1) точність класифікації компактних (точкових) об'єктів (вираз (1.1)):

$$\text{Prec} = \frac{\text{Pos}^{\text{true}}}{\text{Pos}^{\text{true}} + \text{Pos}^{\text{false}}} 100\%, \quad (1.1)$$

де Pos^{true} – кількість компактних (точкових) об'єктів, вірно віднесених до класу (підкласу);

$\text{Pos}^{\text{false}}$ – кількість компактних (точкових) об'єктів, помилково віднесених до класу (підкласу);

2) повнота класифікації компактних (точкових) об'єктів (вираз (1.2)):

$$\text{Rec} = \frac{\text{Pos}^{\text{true}}}{\text{Pos}^{\text{true}} + \text{Neg}^{\text{false}}} 100\%, \quad (1.2)$$

де $\text{Neg}^{\text{false}}$ – кількість компактних (точкових) об'єктів, що відносяться до класу (підкласу), але помилково невіднесених до класу (підкласу);

3) показник виділення компактних (точкових) об'єктів (Intersection over Union (IoU)), який розглядається як частка загального простору, займаного передбаченим та справжнім обмежуючими прямокутниками для компактного (точкового) об'єкту (вираз (1.3)):

$$\text{IoU} = \frac{\text{Box}^{\text{pred}} \cap \text{Box}^{\text{true}}}{\text{Box}^{\text{pred}} \cup \text{Box}^{\text{true}}}, \quad (1.3)$$

де Box^{pred} – передбачений обмежуючий прямокутник для компактного (точкового) об'єкту;

Box^{true} – справжній обмежуючий прямокутник для компактного (точкового) об'єкту.

Достовірність розпізнавання складних (групових) об'єктів інтересу D^c визначається у відповідності до виразу (1.4) [138]–[141]:

$$D^c = \frac{N_{true}^c}{N_{all}^c} 100\%, \quad (1.4)$$

де N_{true}^c – кількість правильно розпізнаних складних (групових) об'єктів;

N_{all}^c – загальна кількість розпізнаних складних (групових) об'єктів.

Час дешифрування ОЕЗ залежить від інформативності зображення, розміру площини, що відзнята, характеру місцевості, особливостей об'єктів інтересу, ступеню маскуванню об'єктів інтересу, категорії вимог до інформації (загальні вимоги до повноти та детальності дешифрування наведені в табл. 1.2 [18]).

Таблиця 1.2 – Загальні вимоги до повноти та детальності дешифрування [18]

№ з/п	Елементи повноти інформації	Елементи детальності інформації		
		Перша категорія донесення	Друга категорія донесення	Третя категорія донесення
1.	Найменування об'єкта	Вид або умовний номер складного об'єкта	Вид або умовний номер складного об'єкта	Вид або умовний номер складного об'єкта, тип
2.	Місцеположення	Віддаленість від характерного орієнтира або координати загального центра	Віддаленість від характерного орієнтира або координати центрів основних елементів	Координати центрів основних елементів

Кінець таблиці 1.2

3.	Класифікація і кількість основних простих об'єктів	Класи та кількість з похибкою не більше 15%	Підкласи та кількість з похибкою не більше 10%	Підкласи (типи) та кількість з похибкою не більше 5%
4.	Класифікація та кількість другорядних простих об'єктів	Вид та кількість з похибкою не більше 25%	Класи та кількість з похибкою не більше 20%	Класи (підкласи) та кількість з похибкою не більше 15%
5.	Характер діяльності	Загальний характер діяльності	Характер діяльності окремих елементів складного об'єкта	Характер діяльності окремих елементів і основних простих об'єктів
6.	Ступінь маскуванія	Замасковано / не замасковано	Вид та кількість замаскованих елементів	Клас та кількість замаскованих елементів і простих об'єктів, прийоми маскуванія
7.	Характеристики основних елементів	–	Найменування та кількість основних елементів	Найменування, кількість та склад основних елементів
8.	Інженерне устаткування	–	Вид та кількість основних інженерних устаткувань	Клас та кількість основних інженерних устаткувань, їх віддаленість від центру об'єкта
9.	Характеристика хибних елементів та простих об'єктів	–	–	Клас, кількість та координати хибних елементів та простих об'єктів
10.	Зміни на об'єкті та місцевості	–	–	Координати (віддаленість від характерного орієнтира) пожеж, руйнувань та затоплень, розміри площини, ступінь руйнувань

Перша категорія донесення передбачає видачу першочергової мінімально необхідної інформації в мінімально короткий термін. В цьому випадку дається неповний опис складного об'єкту і характеристика його

основних властивостей [18]. Друга категорія донесення включає більш повний опис об'єкта та потребує на дешифрування зображення декілька більший час, ніж перша. Ця категорія передбачає більш детальний опис тих самих властивостей об'єкта, що й перша, а також нарощування інформації за рахунок опису нових його властивостей [18]. Третя категорія потребує найбільш повного та детального опису складного об'єкта і, відповідно, потребує більше часу [18].

Практикою встановлено, що час дешифрування при масштабі зображення 1:1000 – 1:12000 одного складного об'єкта розміром (30x30) см складає 2-10 хвилин, для дешифрування зображення розміром (50x50) км потребується близько 1000 годин, а для дешифрування зображення розміром (300x300) км – порядку сотень діб [18].

1.2 Основні етапи обробки оптико-електронних зображень та рівні локалізації об'єктів інтересу на етапі розпізнавання

Процес дешифрування зображень з бортових систем ОЕС складається з декількох рівнів та етапів, що ведуть дешифрувальника до розпізнавання об'єктів, а потім до їх загальної оцінки, визначення сутності складного об'єкта і формування інформації про нього [35]. Залежно від властивостей зображення, характеру місцевості і розташованих на ній об'єктів інтересу, кваліфікації дешифрувальника та інших факторів, рівні та етапи дешифрування можуть чітко розділятися чи непомітно переходити з одного в інший [35]. Отже, технологія дешифрування ОЕЗ може бути представлена чотирма рівнями (рис. 1.3 [35]). Основні задачі дешифрування ОЕЗ схематично наведено на рис. 1.4 [14]–[15], [18], [32]–[33], [35]–[38].

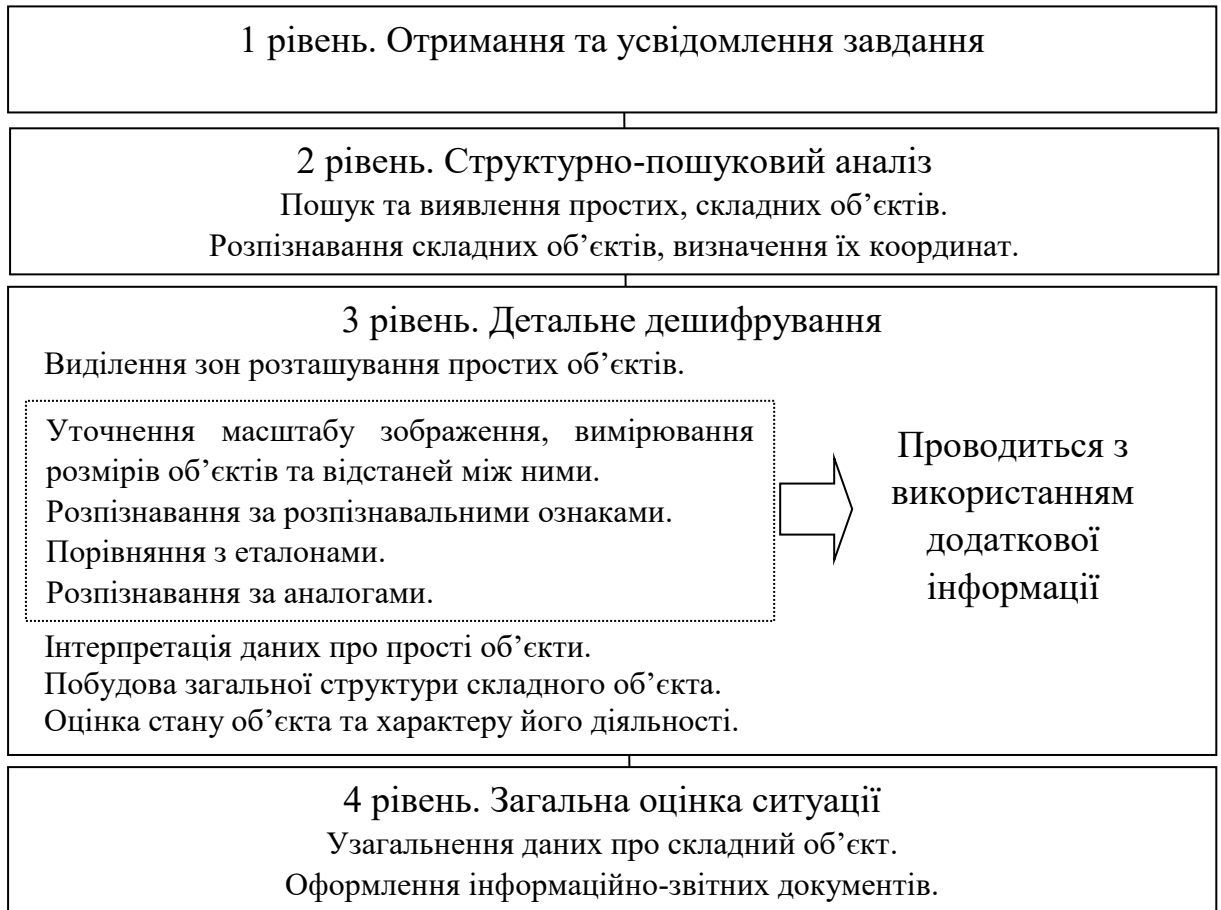


Рисунок 1.3 – Технологія дешифрування ОЕЗ [35]

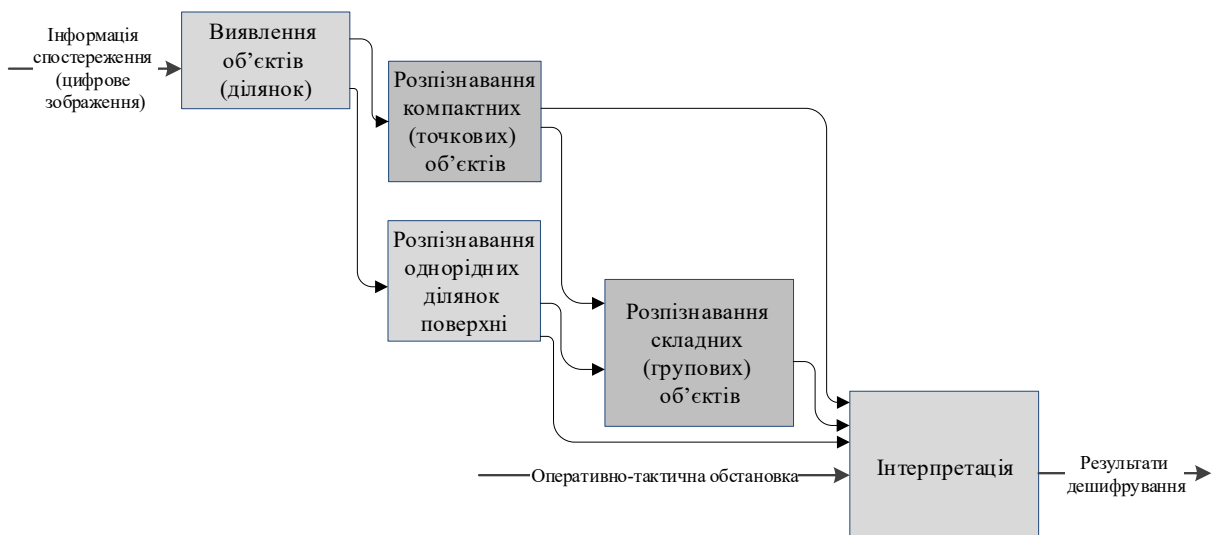


Рисунок 1.4 – Основні задачі дешифрування ОЕЗ [14]–[15], [18], [32]–[33], [35]–[38]

Основними задачами, що суттєво впливають на якість процесу дешифрування взагалі, є задачі виявлення і розпізнавання компактних (точкових) та складних (групових) об'єктів інтересу на ОЕЗ. У загальному випадку задача розпізнавання компактних (точкових) об'єктів інтересу на ОЕЗ розглядається як задача аналізу різноманітних характеристик пікселів зображення з використанням об'єктно-орієнтованого або піксельно-орієнтованого підходів [15], [33], [35], [39]–[40]. З іншого боку, ОЕЗ представляють собою класичний приклад неструктурованої інформації, а процес розпізнавання традиційно відноситься до процедур, що фактично не формалізуються [39]–[40].

Таким чином, задача розпізнавання компактних (точкових) об'єктів на ОЕЗ відноситься до класу неструктурованих задач. Вирішення такої задачі з використанням об'єктно-орієнтованого підходу дозволяє врахувати форму, розмір, текстуру, однорідність та просторовий взаємозв'язок елементів об'єктів інтересу [39]–[40].

Процес розпізнавання складних (групових) об'єктів розглядається як процес вирішення задач з'ясування істинності або хибності певних послідовностей логічних суджень щодо наявності класу (підкласу) складного (групового) об'єкта з використанням кількісних та якісних характеристик [39]–[40]. Отже, задача розпізнавання складних (групових) об'єктів відноситься до класу слабоструктурованих задач [39]–[40].

З точки зору традиційних етапів обробки цифрових зображень та, у відповідності до досліджуваних процесів дешифрування, основну увагу необхідно приділити етапу виділення ознак об'єктів та етапу виділення й класифікації безпосередньо об'єктів на зображенні при їх розпізнаванні на відповідних рівнях локалізації (рис. 1.5) [14]–[15], [17], [40], [44].

Першочерговим етапом, що визначає якість обробки і результату дешифрування в цілому, є етап тематичного сегментування ОЕЗ [17]–[19], [35], [39]–[40]. В дисертаційній роботі основна увага приділяється етапу тематичного сегментування ОЕЗ, який, у відповідності до рис. 1.5, включає

етапи сегментування, виділення ознак об'єктів інтересу та семантичного сегментування.

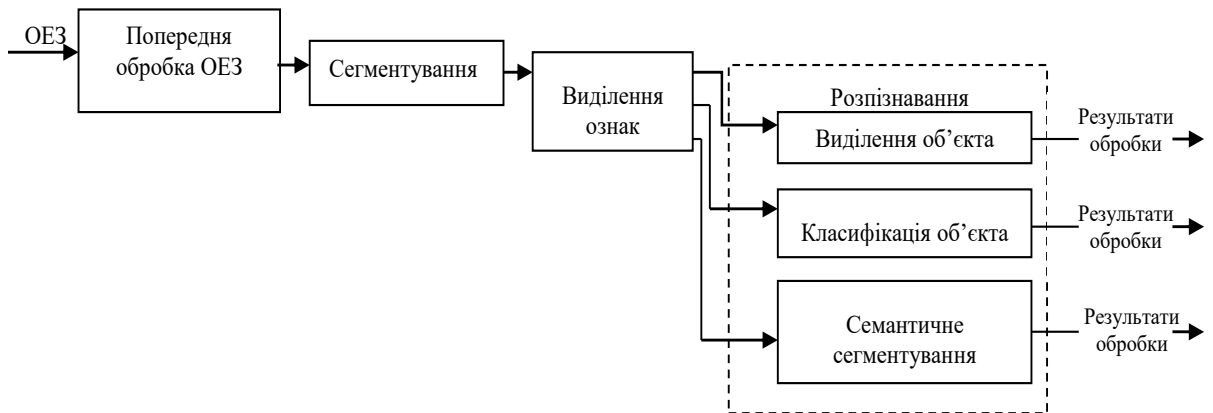


Рисунок 1.5 – Етапи обробки ОЕЗ та рівні локалізації об'єктів інтересу на етапі розпізнавання [14]–[15], [17], [40], [44]

Етап семантичного сегментування відноситься до етапу розпізнавання об'єктів інтересу, покладається на оператора-дешифрувальника [17]–[19], [35], [39]–[40] та виходить за межі дисертаційної роботи.

1.3 Відомі методи тематичного сегментування оптико-електронних зображень

Кількість робіт, що присвячені розробці, модернізації та застосуванню методів сегментування ОЕЗ, постійно зростає. Це зумовлено значним впливом сегментування на кінцеву якість обробки та дешифрування зображення. Сегментування полягає в розбитті зображення на складові частини, для яких виконується деякий критерій однорідності. Такими складовими частинами можуть бути: області об'єктів, області фонів, границі між об'єктами та фоном або інші інформативні фрагменти,

що мають деякі змістовні ознаки [142]–[145]. Відомі методи сегментування зображення ґрунтуються на базовій властивості сигналу яскравості – однорідності та розривності [21]–[25], [47]–[52], [70], [94]–[95], [142]–[145].

До областей, що отримані в результаті сегментування ОЕЗ, висуваються наступні вимоги [21]–[25], [47]–[52], [70], [142]–[145]:

- області повинні бути однорідними щодо певних характеристик;
- внутрішні частини областей повинні бути простими;
- суміжні області повинні істотно відрізнятися за значеннями обраних характеристик, відносно яких вони є однорідними;
- межі кожного сегменту повинні бути простими, просторово точними.

На практиці при аналізі конкретного зображення виникає необхідність вибору методу сегментування, доводиться враховувати як властивості зображення, так і особливості конкретного методу сегментування ОЕЗ. У теперішній час відома велика кількість методів сегментування, наприклад [15], [21]–[25], [70], [47]–[52], [142]–[147]:

- частотні методи, що засновані на застосуванні двовимірного дискретного перетворення Фур'є;
- метод зворотної проєкції;
- нейромережеві методи;
- метод П.Віоли й М.Джонса;
- метод Н.Далала й Б.Тріггса;
- ієрархічні методи, засновані на об'єднанні кластерів за принципом їх близькості;
- карти Кохонена, що самоорганізуються;
- виділення контурів на зображенні;
- методи, що засновані на теорії графів та інші.

1.3.1 Класифікація методів сегментування оптико-електронних зображень

В загальному випадку відомі методи сегментування розділяються на три основні групи: статистичні, структурно-ознакові та змішані. У зв'язку з існуванням величезної кількості методів сегментування, у кожній з цих груп набуває популярності класифікація методів за різноманітними характеристиками. Наприклад, за режимами обробки (real time, soft regime, online mode, intelligent analysis), за вхідними даними (окреме зображення, масив зображень чи потік зображень), за спеціалізацією (виділення строго визначених об'єктів) та інше. Не менш популярною є класифікація методів, як таких, що базуються на машинному навчанні, так і таких, які не використовують його. Принциповою відмінністю в останній класифікації є існування різноманітних витрат на процедури навчання при забезпеченні високої якості сегментування. Серед відомих підходів до побудови класифікації відомих методів сегментування виділяють декілька [148]–[149]. Розглянемо їх детальніше [148]–[149].

Класифікація методів сегментування, що заснована на підході Фу [150]–[151], представлена на рис. 1.6. Недоліком цієї класифікації є те, що методи порогової обробки одночасно можна віднести до методів вилучення областей [148]–[149].



Рисунок 1.6 – Класифікація методів сегментування, що заснована на підході Фу [150]–[151]

Відома альтернативна класифікація, що заснована на підході Пала (рис. 1.7) [152]. Необхідно відзначити, що множини інформаційних ознак, виділених Палом груп методів сегментування, перетинаються одна з одною. Крім того, процес сегментування кольорових зображень та тривимірних зображень може бути оснований на методах порогової обробки, класифікації пікселів та виділення країв [148]–[149].



Рисунок 1.7 – Класифікація методів сегментування за Палом [152]

Класифікація методів сегментування кольорового зображення приведена в огляді Скарбека й Кошана (рис. 1.8), у відповідності з якою усі методи розділені на чотири групи [153].

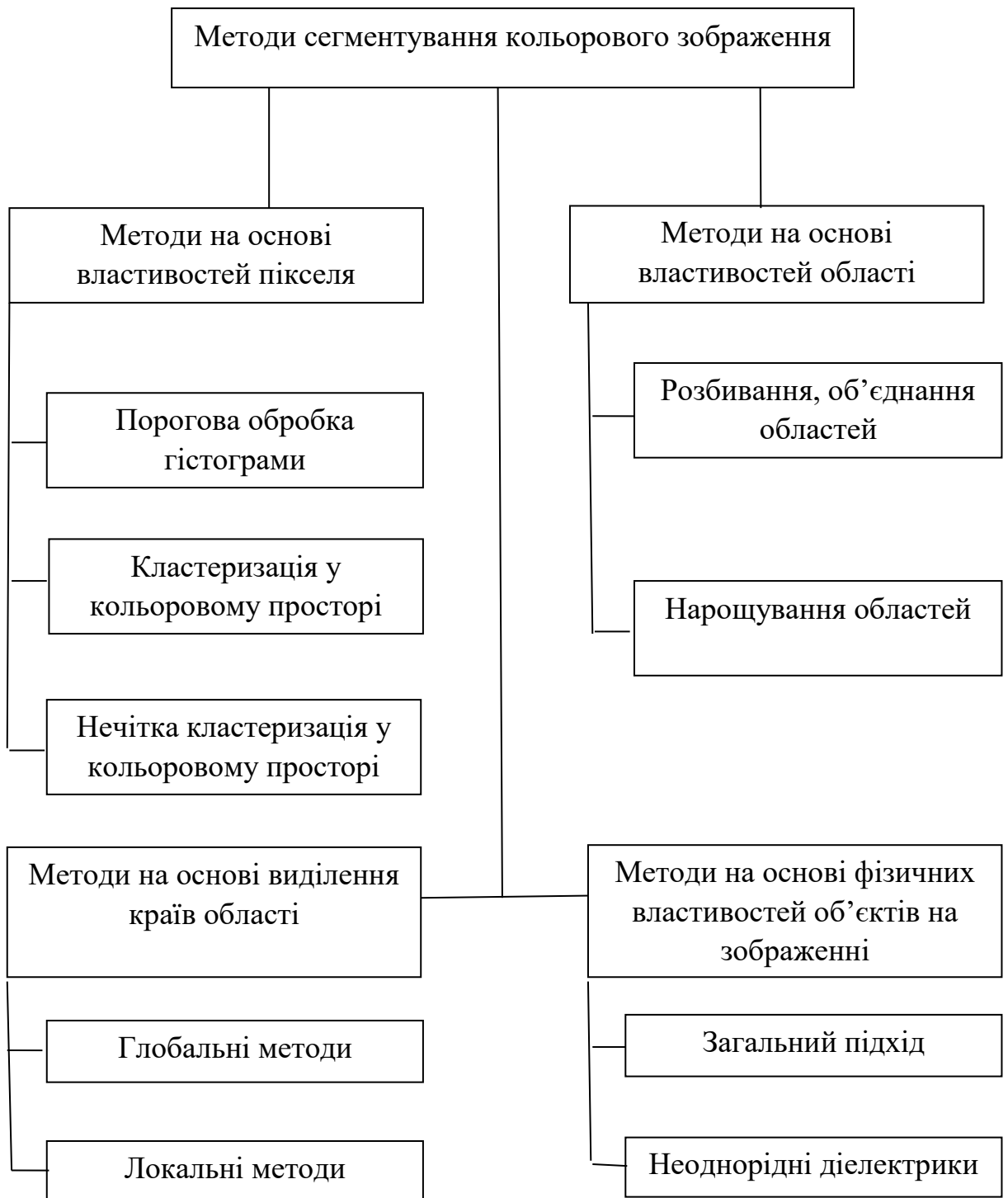


Рисунок 1.8 – Класифікація методів сегментування Скарбека й Кошана

[153]

Відома класифікація методів сегментування Лючіса й Мітра (рис. 1.9) [154]. Недолік класифікації (рис. 1.8–1.9) – розглядається класифікація методів сегментування лише кольорових зображень.

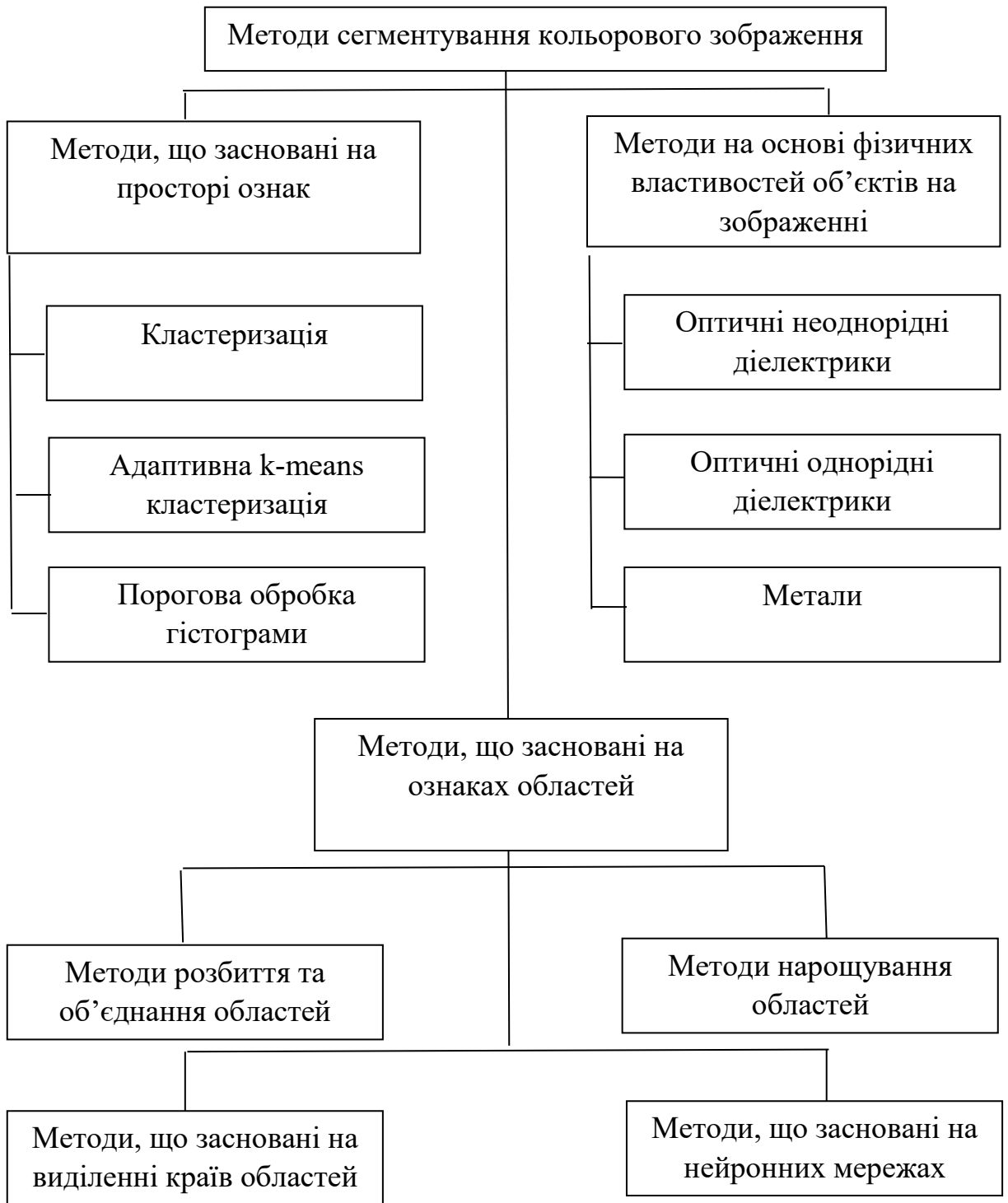


Рисунок 1.9 – Класифікація методів сегментування Лючіса й Мітра [154]

Класифікація методів сегментування тонових ОЕЗ, що запропонована Денісовим й Нізовкіним, наведена на рис. 1.10 [155].

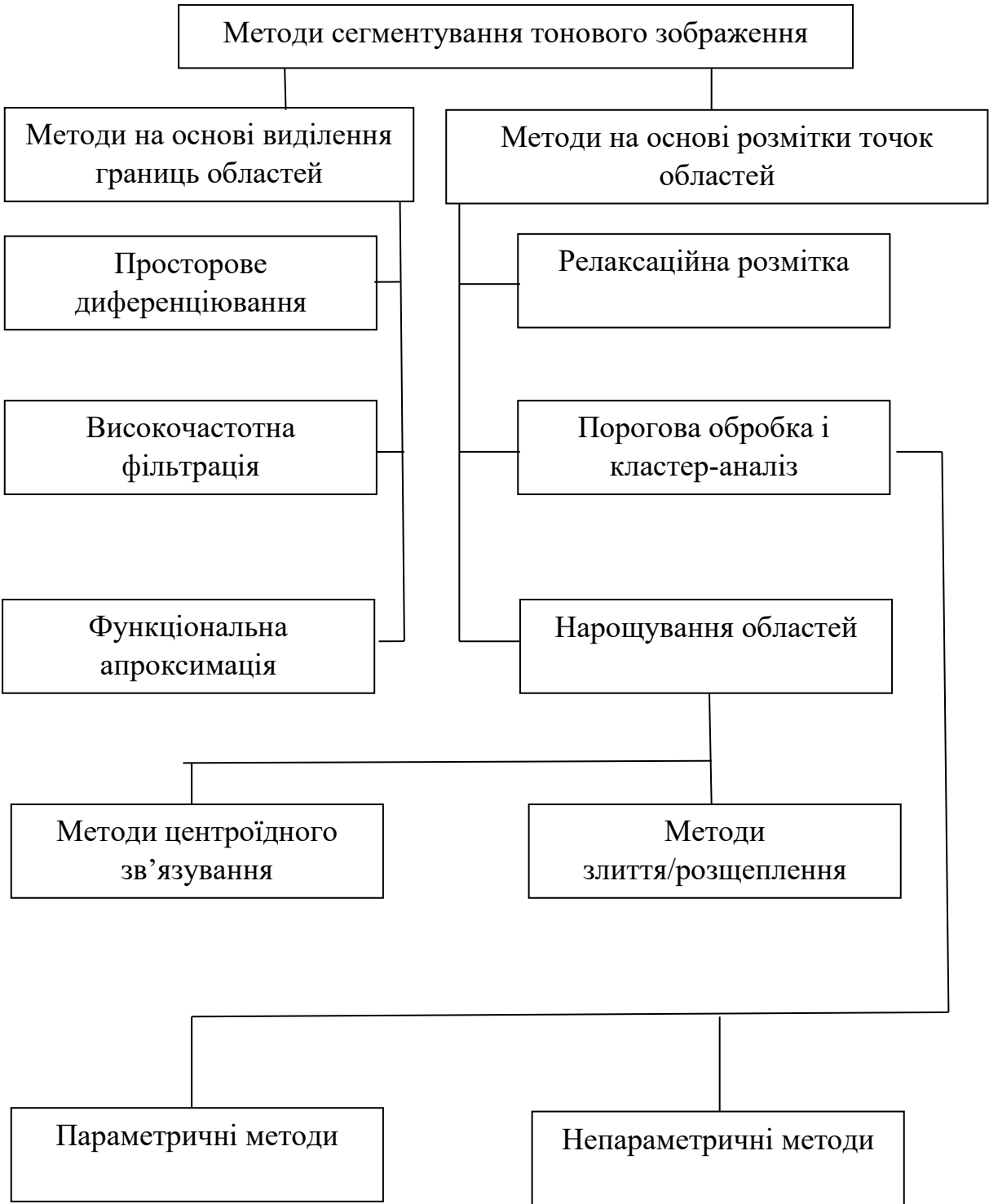


Рисунок 1.10 – Класифікація методів сегментування Денісова й Нізовкіна [155]

Крім наведених вище, використовуються також класифікації за єдиною інформаційною ознакою. Так в [156] наведена класифікація тільки методів на основі порогової обробки, а в [157] – тільки методів виділення

границь областей, а в роботах [158]–[160] запропоновано класифікація методів сегментування тонових зображень.

В роботі [161] запропонована класифікація методів сегментування зображень, яка об'єднує підходи [48], [162] та наведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Класифікація методів сегментування зображень [161]

Класифікація	На основі границь (розривність)	На основі областей (схожість)
Паралельна обробка	G1: методи паралельної обробки на основі виділення границь	G3: методи паралельної обробки на основі виділення областей
Послідовна обробка	G2: методи послідовної обробки на основі виділення границь	G4: методи послідовної обробки на основі виділення областей

Наведені в табл. 1.3 групи методів сегментування включають усі існуючі методи сегментування [148]:

– більшість методів сегментування на основі виділення границь можна віднести до групи G1;

– частину методів сегментування на основі виділення границь, які використовують обробку, що подібна до зв'язування границь, можна віднести до групи G2;

– всі методи порогової обробки, кластеризації та інші, в яких сегментування розглядається як задача класифікації пікселів, можна віднести до групи G3;

– методи, що засновані на представленні зображення за допомогою вейвлетів, методи вирощування областей, розбиття та об'єднання областей можна віднести до групи G4.

Однак, класифікація, що запропонована в [161], представляє лише самий верхній рівень класифікації, тому скористуємося результатами [148]–[149] та розглянемо універсальний підхід до класифікації існуючих методів сегментування ОЕЗ.

1.3.2 Універсальна класифікація методів сегментування оптико-електронного зображення

Для проведення універсальної класифікації розглянемо наступні інформаційні ознаки методів сегментування [148]–[149]:

– властивості, на основі яких виконувалося сегментування (розривність або схожість низькорівневих ознак зображення). Властивість схожості низькорівневих ознак покладено в основу класифікації методів виділення областей, а властивість розривності – в основу класифікації методів виділення границь;

– стратегія обробки зображення: послідовна або паралельна;

– тип сегментованого зображення: кольорове або тонове;

– критерії якості сегментування.

В табл. 1.4 запропонована наступна класифікація методів сегментування [148]–[149].

Таблиця 1.4 – Класифікація методів сегментування зображень [148]–[149]

Класифікація	З використанням критерію якості	Без використання критерію якості
Кольорові зображення	W1: методи сегментування кольорових зображень з використанням критерію якості	W3: методи сегментування кольорових зображень без використанням критерію якості
Тонові зображення	W2: методи сегментування тонових зображень з використанням критерію якості	W4: методи сегментування тонових зображень без використанням критерію якості

В [148]–[149] поєднані дані табл. 1.3–1.4 та запропонована універсальна класифікація методів сегментування (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Універсальна класифікація методів сегментування зображень [148]–[149]

G1_W1	G1_W3	G3_W1	G3_W3
	<ul style="list-style-type: none"> – методи реєстрації границь між об'єктами однакової яскравості, але з різними відтінками [163]; – методи реєстрації границь з використанням Hueckel-оператору [164]; – методи реєстрації границь [165]; – детектор границь на основі теорії нечітких множин [166]; – методи на основі визначення зміни кольору і текстури [167]; – методи на основі функції Лапласіана з урахуванням відтінків кольору [168] 	<ul style="list-style-type: none"> – методи динамічної кластеризації DSPSO на основі ознак, що не враховують ознак кольору [176] 	<ul style="list-style-type: none"> – мультиспектральна порогова обробка [48]–[50]; – метод з використанням кластерного аналізу на основі дев'яти ознак кольору з кластеризацією в просторі головних компонент зображення [177]; – метод на основі класифікації спектральних коефіцієнтів JPEG-кодування [178]; – метод на основі нечітких множин та принципу максимальної ентропії [179]; – метод розділу графа Ші і Маліка [180]; – метод на основі зсуву середнього [181]; – метод на основі теорії графів [182]
G1_W2	G1_W4	G3_W2	G3_W4
	<ul style="list-style-type: none"> – метод Канні [47]; – методи з використанням операторів Робертса, Превітта, Собеля, пошук границь за допомогою перехресть нульового рівня [46], [48]–[50]; 	<ul style="list-style-type: none"> – методи динамічної кластеризації DSPSO, що враховують ознаки кольору [176] 	<ul style="list-style-type: none"> – методи кластеризації: по математичному очікуванню (k-means) [183], ISODATA [50], [184], FC-WINN [185], PAM [186], CLARANS [52], DBSCAN [187], CURE [188], РОСК [189], CHAMELEON [190], X-means [183];

Продовження таблиці 1.5

	<ul style="list-style-type: none"> – методи з використанням оператора Кірша, Фрейн-Чен [157]; – методи з використанням оператора максимальної різниці, оператору Девіса [155]; – методи з використанням SUSAN-оператору [169]; – методи з використанням детектору Rothwell [170]; – методи з використанням детектору Edinson [171] 		<ul style="list-style-type: none"> – методи порогової обробки [156]; – методи на основі гістограм локальних фрактальних розмірностей [191]–[192]; – методи пошуку моди гістограми [48]–[50]; – методи морфології [48]–[50]; – методи релаксаційної розмітки [169]
G2_W1	G2_W3	G4_W1	G4_W3
	<ul style="list-style-type: none"> – метод контурної конкуренції на основі ймовірнісної багатомасштабної моделі зображення [172]; – метод на основі еволюції кривої [173]; – методи на основі моделі активних контурів [174] 	<ul style="list-style-type: none"> – методи JSEG-сегментування [52] 	<ul style="list-style-type: none"> – методи розбиття областей [193]; – методи вирощування/об'єднання областей [194]; – метод з використанням випадкового марківського поля [195]; – методи розбиття/об'єднання з використанням теорії нечітких множин [196]; – методи розбиття/об'єднання [197]; – метод розбиття/об'єднання з урахуванням текстури [198]; – метод на основі розбиття/об'єднання з урахуванням інформації про контури [199]

Кінець таблиці 1.5

G2_W2	G2_W4	G4_W2	G4_W4
	– методи з використанням пошуку на графі [48]–[50]; – методи на основі моделі активної форми [175]		– метод Хараліка для нарощування областей [48]–[50], [158]; – метод вирощування областей [48]–[50]; – ітеративний метод розділу/злиття [48]–[50]; – метод сегментування по водорозділам [48]–[50]

З аналізу табл. 1.5 видно, що у теперішній час не розроблено методи сегментування, що відносяться до наступних груп [148]–[149]:

– G1_W1 – методи паралельної обробки на основі виділення контурів для сегментування кольорових зображень з використанням критерію якості;

– G1_W2 – методи паралельної обробки на основі виділення контурів для сегментування тонових зображень з використанням критерію якості;

– G2_W1 – методи послідовної обробки на основі виділення контурів для сегментування кольорових зображень з використанням критерію якості;

– G2_W2 – методи послідовної обробки на основі виділення контурів для сегментування тонових зображень з використанням критерію якості;

– G4_W2 – методи послідовної обробки на основі виділення областей для сегментування тонових зображень з використанням критерію якості.

Таким чином, аналіз табл. 1.5 дозволить обґрунтувати вибір методів сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

Проведемо стислий аналіз відомих робіт, що присвячені розробці методів сегментування ОЕЗ.

1.3.3 Стислий аналіз відомих робіт, що присвячені розробці методів сегментування оптико-електронних зображень

Сутність деяких відомих методів сегментування ОЕЗ, що наведені в табл. 1.5, більш детально викладена в Додатку В дисертаційної роботи.

Наведені вище відомі методи сегментування зображень не можуть бути напряму застосовані до сегментування зображень з бортових систем ОЕС [90], [92]. Однією з причини неможливості прямого застосування є те, що відомі методи не враховують особливості формування зображень в бортових системах спостереження. До того ж виникають три основні види недоліків сегментування зображень з бортових систем ОЕС [23]–[24], [90], [92], [94]–[95], [103]:

- 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.

Зазвичай методи сегментування використовують декілька параметрів, підбираючи які, можна уникнути останніх двох недоліків. Однак перший недолік можна уникнути лише вибором методу сегментування.

Таким чином, відомим класичним методам сегментування зображень притаманні наступні основні недоліки [94], [148]–[149]:

- більшість методів не визначають границь об'єктів та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів;
- проведення сегментування лише по критерію рівня яскравості точки зображення, що не дає можливості визначати критерії гомогенності сегментів.

В теперішній час для вирішення різних завдань, що виникають при обробці зображень, в тому числі і для сегментування зображень, використовуються генетичні методи, наприклад [69]–[70], [95], [200]. Генетичні методи активно застосовуються для вирішення завдання сегментування медичних зображень [70].

Для вирішення завдання сегментування медичних зображень також використовуються еволюційні методи [69], [71]–[74], [94], [201]. Відомі еволюційні методи сегментування медичних зображень [69], [71]–[74], [94], [201] не можуть бути використані для сегментування ОЕЗ з 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 [202] проведені теоретичні та експериментальні дослідження в області розробки та впровадження методів тематичної обробки аерокосмічних зображень земної поверхні на основі багаторівневих методів сегментування. Однак, в [202] вирішуються завдання сегментування радіолокаційних зображеннях лише рослинного покриву та ґрунту Землі по даним дистанційного моніторингу.

В [203] розроблено ефективні, з точки зору проведення обчислювальних процедур, непараметричні методи кластеризації та методи спектрально-текстурного сегментування супутникових зображень високого просторового розрізнення. Розроблені методи відносяться до відомих методів сегментування (табл. 1.5), враховують особливість формування супутникового зображення та спрямовані на сегментування крупних ландшафтів (ліс, поле, водна поверхня і т.п.).

В [204] 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 [204] полягає у гібридизації

відомих методів штучного інтелекту та застосування їх для сегментування зображення, що отримано в результаті гіперспектрального знімання. Основним недоліком указаних методів є необхідність навчання штучних нейронних мереж, що значно знижує ефективність запропонованих методів сегментування. До того ж є певні труднощі з визначенням функції нормалізованої взаємної інформації та середньої нормалізованої взаємної інформації.

В [19], [39]–[40] розглянуті методи автоматизованого виявлення та класифікації простих об'єктів оптико-електронного повітряного спостереження на основі використання нейронних мереж. Встановлено, що згорткові нейронні мережі на основі об'єктно-орієнтованого підходу мають властивості часткової стійкості до зміни розмірів, зміщення, повороту об'єкту на знімках та паралельного обчислення для обробки зображень в режимі часу, наближеного до реального. В [39] розроблена архітектура нечіткої згорточної нейронної мережі для розпізнавання компактних (точкових) об'єктів на цифровому аерофотознімку. Основними недоліками застосування нейромережевих методів є:

- необхідність участі оператора для навчання та проведення попередньої обробки зображень;
- різні початкові умови отримання зображень 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 аналітичних оптимізаційних математичних моделях.

Таким чином, нейромережеві методи малопридатні для проведення автоматичного сегментування ОЕЗ. Але нейромережеві методи можуть бути використані у якості складової частини комплексної системи сегментування складноструктурованих ОЕЗ.

В [205] 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 [205] 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 [205]. В [205] у якості зображень для підтвердження результатів дослідження використані медичні зображення головного мозку та відомі зображення Tiger та Lenna. Використання методів [205] до сегментування зображень з бортових систем ОЕС ускладнено, так як в [205] не враховується структура та особливості отримання зображення з бортових систем ОЕС. До того ж метод сегментування зображень k-means 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 [206] розроблено методи та алгоритми аналізу даних на основі інструментарію інтелектуальної обробки інформації та біоінспірованого моделювання. В роботі [206] при вирішенні задачі класифікації використовується алгоритм опорних векторів, а для підвищення точності класифікаційних рішень запропоновано використання алгоритму k-близьких сусідів та модифікованого алгоритму рою частинок, який проводить одночасний пошук субоптимальних значень типу функції ядра,

значень параметрів функція ядра та значень параметрів регуляризації. Недоліками методів [206] є нестійкість по відношенню до шумів, відсутність загального підходу до автоматичного вибору ядра та необхідність підбору значення параметру регуляризації у випадку лінійного нерозділення класів.

В [207] розроблено метод та інформаційна технологія сегментації текстурних областей зображень в системах повітряного моніторингу. В [206] вирішено наукове завдання розробки автоматизованого методу сегментування інформативних текстурних областей зображень, близьких за значеннями яскравості і структурою, з метою підвищення ефективності візуального аналізу аерофотознімків в системах повітряного моніторингу. Однак, в [206] у якості об'єктів інтересу розглядаються лише текстурні області природних об'єктів, що відносяться до класу так званих нерегулярних текстур.

В технології комп'ютерного дешифрування даних ДЗЗ використовуються спеціалізовані програмні засоби, найбільш розповсюдженими з яких є: ERDAS IMAGINE, TNTmips, ER Mapper, ENVI, GRASS, INTERGRAPH, Arc View, ScanViewer, IMAGE Transformer, MODIS Processor, IRS Processor, ScanMagic, SCANEX NERIS, LESSA та інші [208]–[212]. Аналіз роботи зазначених спеціалізованих програмних засобів показав, що в деяких з них завдання тематичного сегментування взагалі не вирішуються, а в інших використовуються відомі методи сегментування, що представлені в табл. 1.5.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовані основні етапи обробки ОЕЗ та рівні локалізації об'єктів інтересу. Встановлено, що першочерговим етапом, що визначає

якість обробки та результату дешифрування в цілому, є тематичне сегментування ОЕЗ. В дисертаційній роботі основна увага приділяється етапу тематичного сегментування ОЕЗ, який 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 дисертаційної роботи.

2. Проаналізовано основні вимоги до областей, що отримані в результаті сегментування ОЕЗ:

- області повинні бути однорідними щодо певних характеристик;
- внутрішні частини областей повинні бути простими;
- суміжні області повинні істотно відрізнятися за значеннями обраних характеристик, відносно яких вони є однорідними;
- межі кожного сегменту повинні бути простими, просторово точними.

3. Стисло, критично висвітлені роботи попередників, що присвячені розробці методів сегментування зображень, окреслені основні етапи розвитку наукової думки щодо вирішення завдання сегментування ОЕЗ та вирішені питання, що залишились невирішеними. Встановлено, що у теперішній час не створені методи сегментування, що відносяться до наступних груп:

- методи паралельної обробки на основі виділення контурів для сегментування кольорових зображень з використанням критерію якості;
- методи паралельної обробки на основі виділення контурів для сегментування тонових зображень з використанням критерію якості;
- методи послідовної обробки на основі виділення контурів для сегментування кольорових зображень з використанням критерію якості;
- методи послідовної обробки на основі виділення контурів для сегментування тонових зображень з використанням критерію якості;
- методи послідовної обробки на основі виділення областей для

сегментування тонових зображень з використанням критерію якості.

4. Встановлено, що відомим класичним методам сегментування зображень притаманні наступні основні недоліки:

- більшість методів не визначають границь об'єктів та не проводять сегментування, а лише підкреслюють границі об'єктів;
- проведення сегментування лише по критерію рівня яскравості точки зображення, що не дає можливості визначати критерії гомогенності сегментів.

Встановлено, що відомі методи сегментування зображень не можуть бути напряму застосовані до сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Однією з причини неможливості прямого застосування є те, що відомі методи не враховують особливості формування зображень в бортових системах спостереження. До того ж виникають три основні види недоліків сегментування зображень з бортових систем ОЕС:

- 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.

5. Проаналізовані генетичні та еволюційні методи сегментування зображень, які в теперішній час знайшли застосування при обробці медичних зображень. Встановлено, що зазначені методи не можуть бути використані для сегментування ОЕЗ з 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.

6. Проаналізовані теоретичні та експериментальні дослідження в області розробки та впровадження методів тематичної обробки аерокосмічних зображень земної поверхні на основі багаторівневих

методів сегментування. Встановлено, що указані методи вирішують завдання сегментування на радіолокаційних зображеннях лише рослинного покриву та ґрунту Землі по даним дистанційного моніторингу.

7. Встановлено, що відомі методи автоматизованого виявлення та класифікації простих об'єктів оптико-електронного повітряного спостереження на основі використання нейронних мереж мають наступні недоліки:

- необхідність участі оператора та проведення попередньої обробки зображень;

- різні початкові умови отримання зображень 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 аналітичних оптимізаційних математичних моделях.

Список використаних джерел у розділі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [1]–[4], [13]–[15], [17]–[26], [29], [32]–[40], [44], [46]–[52], [69]–[74], [90], [92], [94]–[95], [103], [136]–[212].

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У даному розділі обґрунтовується вибір напряму дослідження, наводяться методи вирішення завдань дослідження та їх порівняльні оцінки. Матеріали розділу викладені в роботах [95], [97], [103], [105]–[107].

Відмінною рисою дешифрування зображення, взагалі, та його тематичного сегментування, зокрема, є пошук раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив [15]–[16], [78]–[79], [202]–[205], [213]. Особливостями пошуку раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив є нелінійність, недиференційованість, багатоекстремальність, овражність, відсутність аналітичного виразу цільових функцій, висока обчислювальна складність, висока розмірність простору пошуку та складна топологія області допустимих значень [213]–[215]. Знаходження рішення точними методами оптимізації ускладнюється нелінійністю, недиференційованістю та відсутністю аналітичного виразу цільової функції [214]–[215]. Висока обчислювальна складність, висока розмірність простору пошуку та складна топологія області допустимих значень приводять до значних витрат часу при використанні точних методів оптимізації [214]–[215].

Показники якості дешифрування та тематичного сегментування зображення, як правило, описуються нелінійними залежностями та оцінюються за допомогою складних моделюючих методів, що зумовлює високу трудомісткість обчислень при вирішенні оптимізаційної задачі [35], [202]–[204], [213]. В таких умовах застосування класичних методів пошуку екстремуму цільової функції стає малоефективним [69], [78]–[79], [202]–

[205], [213]–[215]. У теперішній час розвиваються методи пошуку глобального екстремуму зі збіжністю до точного рішення оптимізаційної задачі, що забезпечує оптимальне (мінімальне або максимальне) значення цільової функції [69], [78]–[79], [202]–[205], [213]–[215]. До таких методів відносяться метаевристичні методи оптимізації, які, на відміну від класичних методів оптимізації, можуть використовуватися в умовах повної відсутності інформації щодо характеру та властивостей цільової функції [95], [97], [103], [105]–[107], [202]–[205], [213].

2.1 Використання метаевристичних методів для вирішення оптимізаційних задач

В загальному випадку оптимізаційна задача Θ (вираз (2.1)):

$$\Theta = (O, f(x)) \quad (2.1)$$

– це задача, в якій задана кінцева кількість об'єктів O та цільова функція $f(x): O \rightarrow \mathbb{R}$, що визначає позитивне значення вартості для кожного з об'єктів $o \in O$ [216]–[217]. Мета оптимізації полягає в знаходженні об'єкту з мінімальним значенням вартості. Об'єктами, як правило, є цілі числа, підмножини множин елементів, перестановки множин елементів або графові структури [216]–[217]. Більшість оптимізаційних задач, до яких належить задача тематичного сегментування ОЕЗ, відноситься до NP-складних задач, та точне рішення їх потребує побудови дерева пошуку рішень експоненціального розміру [217]. Для вирішення указаних задач, в тому числі і задачі тематичного сегментування зображення, доцільно використання метаевристичних методів. Перевагами метаевристичних методів оптимізації є спроможність вирішення складних задач без знання

простору пошуку [217]. Метаевристичні методи реалізують прямий випадковий пошук можливих рішень задачі, що є оптимальними або близькими до оптимальних, доки не буде виконана деяка умова або досягнута задана кількість ітерацій [217].

Процедура, що знаходить допустиме рішення $\tilde{x} \in X$ оптимізаційної задачі (2.1), є евристикою [217]. В ідеальному випадку рішення \tilde{x} повинно співпадати з оптимальним рішенням x^* оптимізаційної задачі (2.1) (якщо x^* є єдиним рішенням) та $f(\tilde{x})=f(x^*)$. Але для більшості евристик можна тільки сподіватися (а для деяких доказати), що $f(\tilde{x})$ є "близьким" до $f(x^*)$ [217]. Більш загальні методи рішення оптимізаційної задачі (2.1) викладені в [218]–[219] та названі метаевристичними методами. Метаевристичні методи спрямовані на ефективне дослідження простору пошуку оптимального рішення, поєднують основні евристичні методи та потребують менше часу, ніж розробка спеціалізованих евристичних методів "з нуля" [217]. Метаевристичні методи мають наступні властивості [217]:

- керування процесом пошуку оптимального рішення;
- ефективне дослідження простору пошуку для знаходження оптимального рішення;
- використання простих процедур локального пошуку та складних процесів навчання;
- є наближеними методами та, як правило, недетермінованими;
- враховують можливість попадання в пастку в обмеженому просторі пошуку;
- є універсальними (вирішують різні прикладні задачі);
- використовують апріорну інформацію для знаходження оптимального рішення.

Основними операціями, що використовуються в метаевристичних методах, є наступні [217]–[219].

1. Ініціалізація. Знаходження початкового рішення $x = x_0$.

2. Визначення околиці рішення. Кожному рішенню $x \in X$ відповідають множина околиць та пов'язані з цим переходи $N(x) = \{N_1, N_2, \dots, N_q\}$.

3. Критерій вибору околиці визначається у випадку наявності більше, ніж одна околиця, та визначає не тільки обрану околицю, але й умову її вибору. Альтернативи обрання околиці задовольняють умовам "на кожній ітерації" або "при заданих умовах".

4. Відбір кандидатів на оптимальне рішення. У випадку великих околиць розглядається тільки підмножина переходів на кожній ітерації. Відповідний список кандидатів $C(x) \subseteq N(x)$ може бути постійним та поновлюваним від ітерації до ітерації, або може бути побудованим на кожній новій ітерації. У всіх випадках критерій вибору визначає, яким чином можуть бути обрані рішення для включення в список кандидатів.

5. Критерій прийняття. Переходи оцінюються за допомогою функції $g(x, y)$, що залежить від значення цільової функції, штрафів за порушення деяких обмежень тощо. Обирається найкраще рішення по відношенню до критерію (2.2) з урахуванням необхідності запобігання зацикленню:

$$\tilde{x} = \arg \text{opt} \{g(x, y); y \in C(x)\}. \quad (2.2)$$

6. Критерій зупинки: час обчислення, кількість ітерацій, якість поліпшення рішення.

Виділяють чотири основні групи метаевристичних методів оптимізації: еволюційні методи; ройові методи; методи, що імітують фізичні процеси; мультистартові методи [213]. До еволюційних методів відносяться: генетичні методи; методи, що імітують імунні системи організмів; методи розсіювання; еволюційної стратегії перетворення кореляційної матриці; метод динамічних сіток; методи диференційної еволюції та інші [213]. До ройових методів відносяться: метод поведінки

частинок у зграї; мурашиний метод; метод штучної бджолоїної колонії; метод, що імітує поведінку зграї риб та інші [213]. При виконанні дисертаційної роботи основна увага приділена еволюційним та ройовим методам тематичного сегментування зображень. Найбільш розповсюдженими серед еволюційних методів є генетичні методи [69], [213]–[214].

2.2 Використання генетичних методів для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження

Генетичні методи – самостійний розділ теорії штучного інтелекту – еволюційних обчислень, які засновані на математичному моделюванні процесів біологічної еволюції [69], [95], [213], [220]. Генетичні методи застосовуються для вирішення оптимізаційних задач, їх предметна область включає проблеми комбінаторики, біоінформатики, теорії ігор, а також – обробка і розпізнавання образів, зокрема зображень [69], [213], [220].

При використанні генетичних методів пошук рішення проходить на підмножині точок простору пошуку, що досягається створенням множини потенційних рішень, яке формує популяцію. Популяція удосконалюється за допомогою генетичних операторів, які відповідають за змінність, цільову функцію, та моделюють природний відбір. Спадщина забезпечується тим, що нові хромосоми формуються з хромосом попереднього покоління і, відповідно, мають загальні з ними гени. Якщо генетичний метод реалізований коректно, то з кожним новим поколінням середнє значення цільової функції популяції та найкраще значення цільової функції зростають в сторону глобального оптимуму [69], [213], [220]. Роботу простого генетичного методу можна представити наступним чином [78]–[79], [95], [220].

1. Створюється початкова популяція (набір хромосом) зазвичай випадковим чином. Обчислюється цільова функція кожної хромосоми популяції та середня адаптивність популяції. Встановлюється рахунок епох.

2. Нарощується рахунок епох. За допомогою оператора репродукції формується проміжна популяція – популяція батьків з урахуванням їх адаптації.

3. Формується наступне покоління. Випадковим чином з проміжної популяції обирається пара батьків, з заданою ймовірністю проводиться над генотипами обраних хромосом кросинговер, обирається один з потомків. До нього послідовно застосовується оператор інверсії, а потім – мутації з заданими ймовірностями. Отриманий генотип потомка зберігається в новій популяції.

4. Якщо в проміжному поколінні ще є батьки, то здійснюється повернення до пункту 3, в противному випадку – пункт 5.

5. Якщо рахунок поколінь досяг заданого значення, то здійснюється перехід до пункту 6; якщо ні, то здійснюється перехід до пункту 2.

6. Вибір найкращих рішень та кінець роботи.

Таким чином, основними генетичними операторами є репродукція, кросинговер, мутація та інверсія [220]. Репродукція – процес формування проміжного покоління. Біологічний зміст кросинговеру – передача ознак батьків потомкам [220]. При цьому обираються дві хромосоми A і B (вирази (2.3)–(2.4)) [95]:

$$A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_L, \quad (2.3)$$

$$B = a'_1, a'_2, a'_3, \dots, a'_L, \quad (2.4)$$

де L – довжина хромосоми.

Дві нові хромосоми A' і B' формуються з A і B (вирази (2.3)–(2.4)) наступним чином: частина хромосоми A до точки кросинговеру

сполучається з частиною хромосоми В після точки кросинговеру та формує першу хромосому-потомок, і, аналогічно, частина хромосоми В до точки кросинговеру сполучається з частиною хромосоми А після точки кросинговеру та формує другу хромосому-потомок (вирази (2.5)–(2.6)) [95]:

$$A' = a_1, a_2, a_3, \dots, a_k, a'_{k+1}, a'_{k+2}, a'_{k+3}, \dots, a'_L, \quad (2.5)$$

$$B' = a'_1, a'_2, a'_3, \dots, a'_k, a_{k+1}, a_{k+2}, a_{k+3}, \dots, a_L, \quad (2.6)$$

де k – точка кросинговеру.

Використання генетичних методів для обробки та розпізнавання зображень розглянуто в [220], а саме – підхід автоматичної розмітки зображення за допомогою генетичних методів. Комбінація використання семантичних мереж для представлення обмежень області і нечіткої логіки для досягнення відповідності міток цим обмеженням породили нову стратегію обчислення цільових функцій для роботи генетичних методів. В [220] показано можливість використання даного підходу для ідентифікації знімків хмар на мультиспектральних супутникових зображеннях.

Можливість використання адаптивного генетичного методу для вирішення задачі сегментування кольорового зображення, ускладненого необхідністю прийняття рішення щодо оптимальної кількості сегментів і точного визначення текстурних областей, розглянуто в [73]. Так як в багатьох випадках при сегментуванні топологічним областям можуть бути поставлені у відповідність області ознак, дану задачу можна вирішити як оптимізаційну і використати генетичні методи для кластеризації невеликих районів простору ознак [73].

В [62] також проаналізовані роботи, що присвячені використанню генетичних методів для вирішення наступних задач обробки зображень:

– квантування зображення з використанням комбінованого генетичного методу, який об'єднує традиційний генетичний метод і метод оптимального квантування зображення;

– визначення різних класів текстури на зображенні по їх кореляції зі спектром Фур'є. При цьому генетичний метод застосовується для вибору оптимальної маски із множини можливих, що використовується для сегментування магнітно-резонансних зображень мозку [73]–[74];

– поєднання етапів сегментування і розпізнавання зображення за допомогою генетичного методу. Пошук ведеться на просторі можливих сегментів зображення, які порівнюються з шаблонними сегментами;

– оптимального визначення набору ознак для класифікації з метою розпізнавання зображення;

– розпізнавання образів на зображенні з використанням класифікатора Байєса.

Застосування генетичних методів для сегментування зображень розглянуто в [95], [221]–[223].

2.3 Використання ройових методів для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження

Ройові методи принципово відрізняються від еволюційних, оскільки не потребують створення на кожному кроці нових популяцій шляхом відбору та схрещування агентів попередньої популяції, а використовують колективні децентралізовані переміщення агентів однієї популяції, без процедур відбору, знищення старих та породження нових агентів [215]. Спосіб визначення належності методу до ройових методів запропонований в [214]: в формулах, що задають поведінку (переміщення, міграцію) агентів рою, повинен бути присутнім об'єкт, що забезпечує непрямий

обмін інформацією між агентами. Таким чином, може бути знайдено оптимальне рішення (метод рою частинок), зважений граф (мурашиний метод), "центр мас" агентів, що отримується усередненням положень всіх агентів з урахуванням відповідних цим положенням значень цільової функції (метод мавпячого пошуку) [97], [103], [106]–[107], [215].

2.3.1 Узагальнений ройовий метод

Для опису узагальненого ройового методу будемо використовувати шаблон проектування "абстрактний суперклас" [215]. При цьому загальна логіка пов'язаних класів (ройових методів) реалізується в суперкласі (узагальнений ройовий метод), а варіанти поведінки кожного окремого ройового методу задаються в реалізації методів з однаковою сигнатурою, як це показано на Unified Modeling Language (UML) – діаграмі класів на рис. 2.1 [215]. Ройові методи використовують набір агентів, вектор параметрів, правила роботи рою, що включають ініціалізацію та міграцію агентів рою, знайдене поточне рішення та значення цільової функції, що відповідає поточному рішенню. Також необхідні засоби обміну для передачі позиції агенту на поточній ітерації до блоку обчислення цільової функції, збереження поточного значення цільової функції та визначення оптимального рішення. Реалізація ініціалізації та міграції агентів рою є специфічною для кожного ройового методу, інші операції можуть мати однакову реалізацію, що задана в класі Swarm [215].

Кожен агент рою є об'єктом класу Unit (рис. 2.1), який містить поточну позицію агенту (вектор координат в просторі пошуку) та значення цільової функції в поточній позиції агенту. В цілому немає необхідності використовувати окремий клас для реалізації агентів, можна реалізувати набір агентів за допомогою структур або матриць для підвищення

швидкості роботи та економії пам'яті обчислювального засобу. Це ж саме відноситься й до структури даних для зберігання агентів, при цьому необов'язково використовувати масив або вектор. Можна використовувати пов'язаний список або таку структуру даних, як піраміда [215].

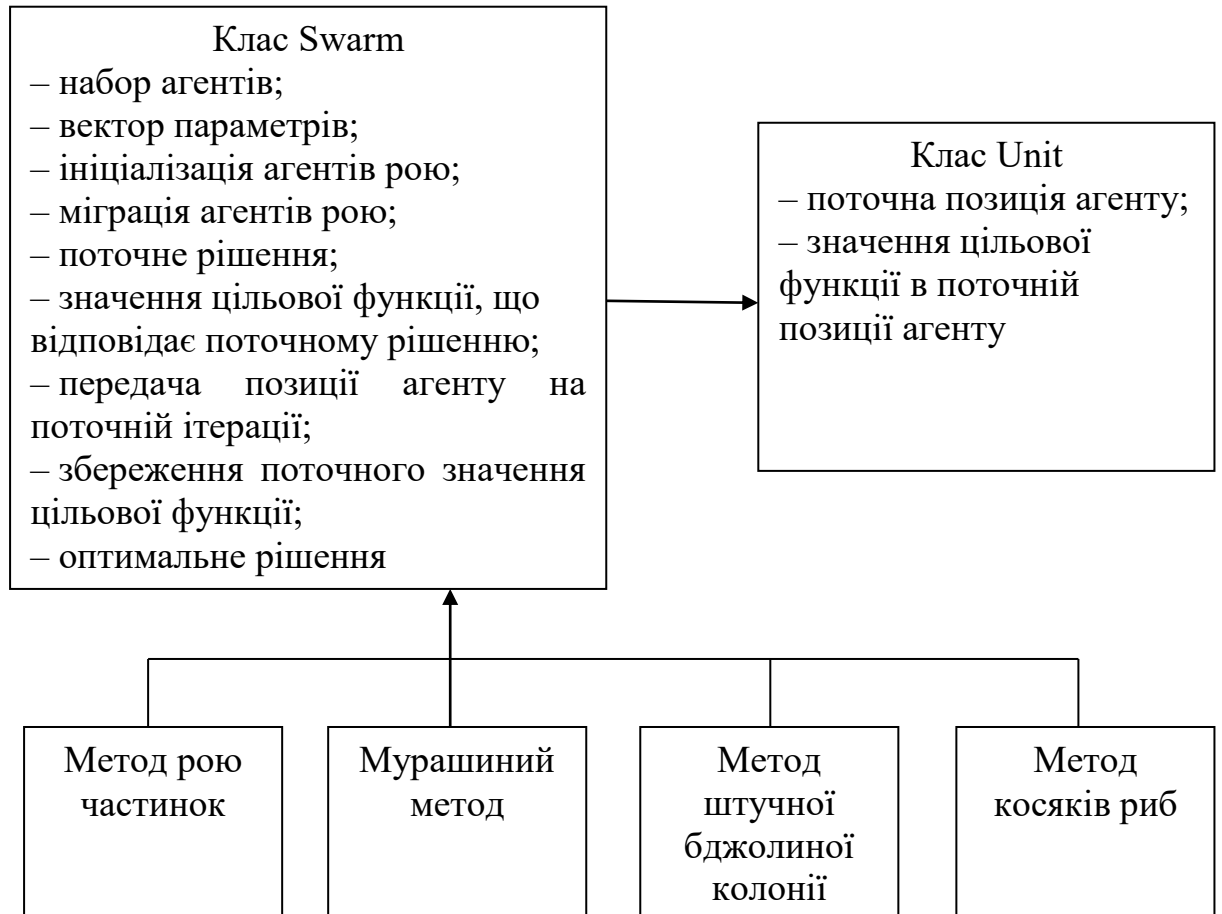


Рисунок 2.1 – UML-діаграма класів ройових методів [215]

Робота узагальненого ройового метода представлена на рис. 2.2 за допомогою UML-діаграми [215]. Ройовий метод реалізований об'єктом `swarm1`, модель оптимізаційної задачі – об'єктом `foo`. Об'єкт `posToX` виконує перетворення позиції агенту в вектор аргументів цільової (fitness) функції, `loop` – цикл. На кожному кроці методу кожен агент визначає значення цільової функції на своїй поточній позиції. Для цього позиція, за необхідністю, перетворюється в вектор аргументів цільової функції, а після її обчислення отримане значення повертається агенту. Після визначення значення цільової функції для всіх агентів проводиться їх

міграція. Після завершення роботи методу отримується найкраще знайдене рішення оптимізаційної задачі. В часткових випадках можливі зміни UML-діаграми (рис. 2.2), такі, як, наприклад, міграція може виконуватися кожним агентом відразу після визначення значення цільової функції на його позиції.

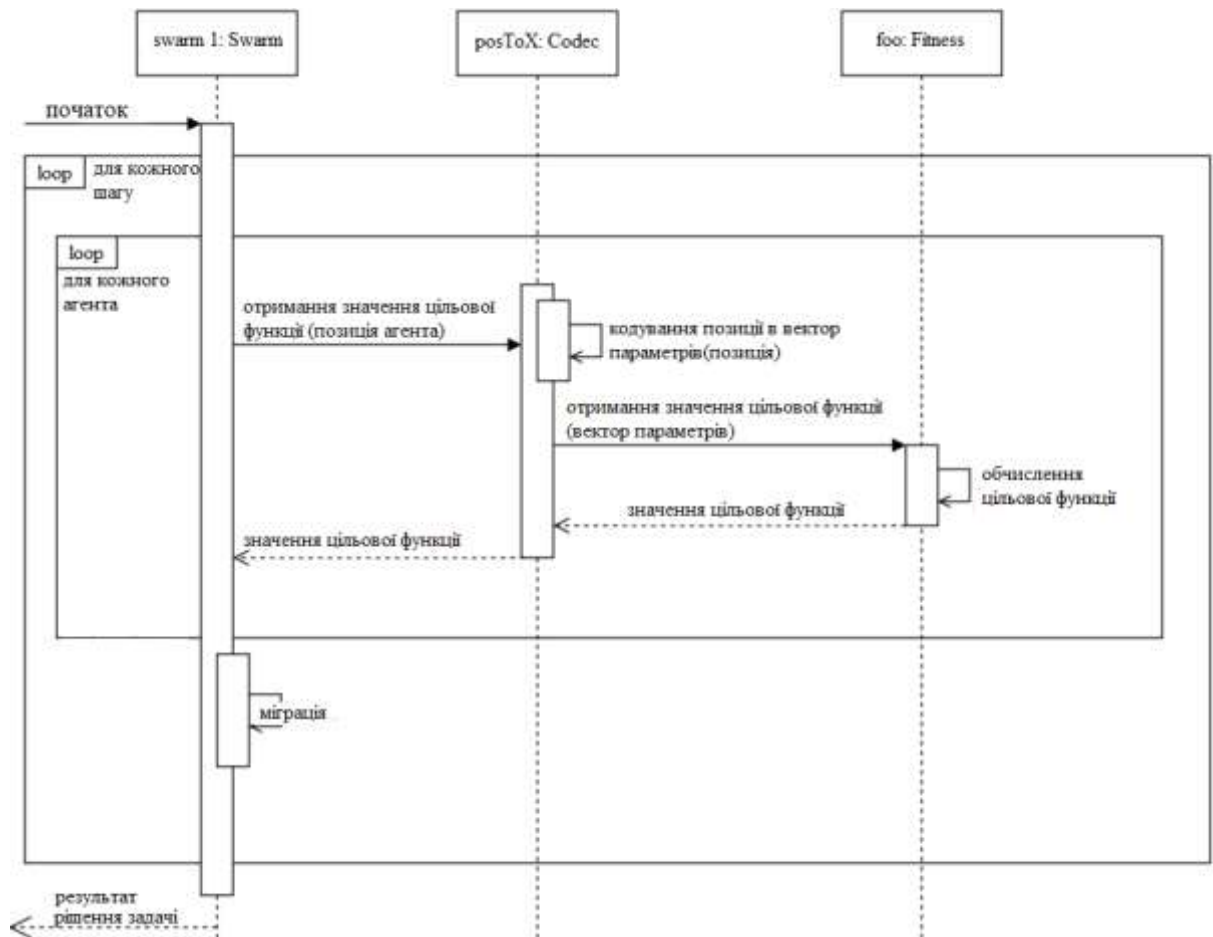


Рисунок 2.2 – UML-діаграма роботи узагальненого ройового методу [215]

Така реалізація узагальненого ройового методу відрізняється гнучкістю, оскільки не залежить від задачі, що вирішується та особливостей реалізації конкретного ройового методу [215]. В результаті підвищується швидкість реалізації ройових методів у порівнянні з іншими оптимізаційними методами. Крім того, стає можливим використання єдиних механізмів для налаштування та адаптації ройових методів [215].

2.3.2 Використання методу рою частинок для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження

Метод рою частинок запропонований як модель імітації поведінки біологічних систем, таких як зграя птахів [69], [75], [77], [78]–[79], [206], [213]–[215], [224]–[225]. Сутність методу полягає в тому, що є рій частинок, кожна з яких в поточний момент часу характеризується набором координат в просторі рішень, вектором швидкостей по кожній координатній осі та координатами кращої точки, в якій частинка знаходилася. Крім того, в пам'яті зберігається й найкраще серед всіх частинок рішення. Кожна частинка змінює напрямок, притягуючись як до локального рішення, так й до глобального. При цьому частинка має інерцію, а у визначенні вектору швидкості присутній елемент випадковості. Орієнтування частинок на глобальне краще рішення імітує обмін інформацією в рої і залучення частинок до більш перспективних рішень, а випадковість в руху, інерція та пам'ять про локальні кращі рішення дозволяє частинкам шукати нові рішення, для того, щоб метод знаходив не лише локальні екстремуми. Базовий метод рою частинок передбачає виконання наступних дій [69], [75], [77], [78]–[79], [97], [213]–[215], [224]–[225].

1. Генерація початкових положень та швидкостей, в яких створюється вектор рівномірно розподілених випадкових величин й довільно обирається найкраща позиція частинки.

2. Визначення цільової функції та визначення найкращого положення частинки.

3. Міграція здійснюється на основі стохастичної поведінки частинки.

4. Перевірка умови завершення. Критеріями завершення можуть бути: досягнення максимально допустимої кількості ітерацій, знаходження

необхідного рішення, відсутність істотного покращення значення цільової функції на протязі деякої кількості ітерацій.

Структурна схема методу рою частинок наведена на рис. 2.3.

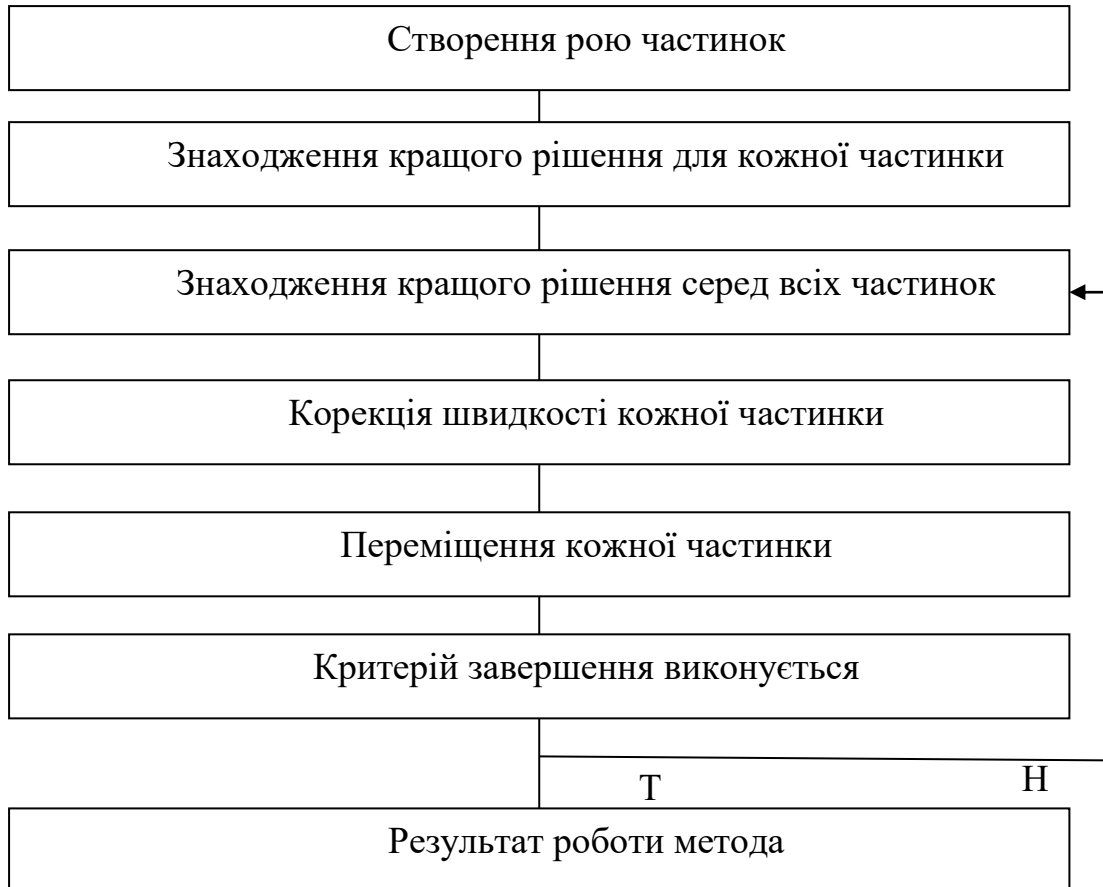


Рисунок 2.3 – Структурна схема методу рою частинок

Поведінка кожної частинки рою в гіперпросторі пошуку рішення увесь час підлаштовується у відповідності зі своїм досвідом та досвідом своїх сусідів. Окрім того, кожна частинка пам'ятає свою кращу позицію з досягнутим локальним найкращим значенням цільової функції та знає найкращу позицію частинок – своїх сусідів, де досягнутий глобальний на поточний момент оптимум. У процесі пошуку частинки рою обмінюються інформацією про досягнуті кращі результати і змінюють свої позиції та швидкості за певними правилами на основі існуючої на поточний момент інформації про локальні й глобальні досягнення. При цьому глобальний кращий результат відомий усім частинкам і негайно корегується у тому

випадку, коли деяка частинка рою знаходить кращу позицію з результатом, що перевершує поточний глобальний оптимум. Кожна частинка зберігає значення координат своєї траєкторії з відповідними кращими значеннями цільової функції, які позначимо u_i , що відображає когнітивну (пізнавальну) компоненту. Аналогічно значення глобального оптимуму, яке досягнуте частинками рою, будемо позначати \hat{y}_j , що відображає соціальну компоненту. Таким чином, кожна частинка рою підпорядковується достатньо простим правилам поведінки, які формально викладаються нижче та враховують локальний успіх кожної особи та глобальний оптимум усіх осіб (або деякої кількості сусідів) рою.

Кожна i -та частинка має такі характеристики, як швидкість $v_i(t)$ та місцезнаходження $x_i(t)$ у момент часу t . Місцезнаходження частинок змінюється у відповідності з виразом (2.7):

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (2.7)$$

де $x_i(0) \in [x_{\min}, x_{\max}]$.

Процесом пошуку рішення управляє вектор швидкості $v_i(t+1)$. Даний вектор складається з компонент, для розрахунку яких використовується когнітивна й соціальна складові рою (вираз (2.8)):

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t)[y_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 r_{2j}(t)[\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t)], \quad (2.8)$$

де w – коефіцієнт інерції (емпіричний коефіцієнт);

$v_{ij}(t)$ – j -та компонента швидкості ($j=1, \dots, n_x$) частинки i в момент t ;

$x_{ij}(t)$ – j -та координата позиції частинки i в момент t ;

c_1 та c_2 – коефіцієнти прискорення (позитивні);

$r_{1j}(t), r_{2j}(t) \in [0, 1]$ – випадкові величини в діапазоні $[0, 1]$;

$y_{ij}(t)$ – найкраща позиція частинки i по координаті j в момент t .

Коефіцієнт c_1 є когнітивним (пізнавальним) параметром, що відображає довіру частинки до її особистого минулого, та відповідає за виявлення нових областей в просторі пошуку. Коефіцієнт c_2 є соціальним параметром, що показує, наскільки частинка довіряє рою, та відповідає за дослідження околиць перспективної області, що знайдена раніше. Коефіцієнт інерції (емпіричний коефіцієнт) w відповідає за зміну швидкості та управляє виявленням нових областей та пошуком в околицях перспективної області.

Для задачі мінімізації краща позиція (g_{best}) в момент $(t+1)$ розраховується наступним чином (вираз (2.9)):

$$\hat{y}_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t), & \text{if } \varphi(x_i(t+1)) \geq \varphi(y_i(t)) \\ x_i(t+1), & \text{if } \varphi(x_i(t+1)) < \varphi(y_i(t)) \end{cases}, \quad (2.9)$$

де $\varphi: \mathbb{R}^{n_\infty} \rightarrow \mathbb{R}$ – цільова функція, яка визначає на скільки поточне рішення близьке до оптимального.

$\hat{y}_j(t)$ (p_{best}) в момент t розраховується за виразом (2.10):

$$\begin{aligned} \hat{y}_j(t) &\in \{y_0(t), \dots, y_{n_s}(t)\}, \\ \varphi(\hat{y}_j(t)) &= \min \{ \varphi(y_0(t)), \dots, \varphi(y_{n_s}(t)) \}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

де n_s – загальне число частинок рою.

Дані дії повторюються з кожною частинкою під час пошуку. Приріст швидкості є величиною фіксованою, що забезпечує збіжність методу. Обчислення повторюються до тих пір, поки не буде досягнута задана кількість ітерацій або до тих пір, поки приріст швидкості не стане достатньо близьким до нуля.

Якість частинок вимірюється цільовою функцією, яка відображає оптимальність відповідного рішення. Цільова функція може визначатися виразом (2.11):

$$\varphi(x_i, \mathbf{Z}) = w_1 \bar{d}_{\max}(\mathbf{Z}, x_i) + w_2 (z_{\max} - d_{\min}(x_i)), \quad (2.11)$$

де z_{\max} – максимальне значення яскравості пікселя в мультиспектральному зображенні;

\mathbf{Z} – матриця належності пікселів кластерам частинки i .

Кожен елемент z_{ijp} показує, чи належить піксель z_p кластеру c_{ij} частинки i . Константи w_1 та w_2 є визначеними. Максимальна евклідова відстань від частинок до асоційованих з ними кластерів визначається за виразом (2.12):

$$\bar{d}_{\max}(\mathbf{Z}, x_i) = \max_{j=1, \dots, n_s} \left\{ \sum_{\forall z_p \in c_{ij}} \frac{d(z_p, m_{ij})}{|c_{ij}|} \right\}, \quad (2.12)$$

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

Мінімальна евклідова відстань між усіма парами кластерів визначається виразом (2.13):

$$d_{\min}(x_i) = \max_{\forall j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{d(m_{ij_1}, m_{ij_2})\}, \quad (2.13)$$

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

Цільова функція (2.11) забезпечує виконання двох оптимізаційних задач:

– зведення до максимуму зовнішніх відстаней міжлюбими парами кластерів, що забезпечується $\bar{d}_{\max}(\mathbf{Z}, x_i)$ (вираз (2.12));

– зведення до мінімуму внутрішніх відстаней між пікселями кластерів та їх середніми $d_{\min}(x_i)$ (вираз (2.13)).

Пріоритети між наведеними задачами можуть бути визначені за рахунок коефіцієнтів w_1 та w_2 .

Існує декілька модифікацій методу рою частинок [69], [75], [77], [78]–[79], [206], [213]–[215], [224]–[225]. Так, модифікація методу рою частинок LBEST передбачає більш детальніший огляд простору пошуку, але є більш повільною. Модифікація методу рою частинок Time-Varying Inertia Weighted передбачає дослідження частинками області пошуку екстенсивно, з великою кількістю локальних оптимізаційних рішень. Збільшення інерції сприяє збіжності метода у подальшому. Модифікація методу рою частинок Canonical PSO відрізняється способом обчислення векторів швидкостей частинок за рахунок введення множника для контролю швидкості кожної частинки. Модифікація методу рою частинок Fully Informed Particle Swarm передбачає використання апріорної інформації, що підвищує якість роботи методу.

2.3.3 Використання методу штучної бджолоїної колонії для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження

Метод штучної бджолоїної колонії заснований на симуляції поведінки бджіл при пошуку нектару [75], [77]–[79], [97], [106]–[107], [226]–[233]. Рій бджіл відправляє декілька розвідників у випадкових напрямках для пошуку нектару. Повернувшись, розвідники повідомляють про знайдені ділянки з нектаром, та на них вилітають інші бджоли. При цьому, чим більше на ділянці нектару, тим більше бджіл до такої ділянки направляються. При цьому, можливе відхилення напрямку польоту бджіл.

Після повернення бджіл проходить обмін інформацією і нова відправка бджіл-розвідників та робочих бджіл.

Метод штучної бджолоїної колонії передбачає виконання наступних дій [75], [77]–[79], [97], [106]–[107], [226]–[233]:

1. Визначення місцеположення джерела нектару.
2. Ініціалізація початкових положень для бджіл-розвідників.
3. Пошук робочими бджолами нових джерел.
4. Визначення цільової функції.
5. Повторення пунктів 1–4 до тих пір, поки рішення не перестане покращуватися.
6. Перевірка умови завершення. Критеріями завершення можуть бути: досягнення максимально допустимої кількості ітерацій, знаходження необхідного рішення, відсутність істотного покращення значення цільової функції на протязі деякої кількості ітерацій.
7. Запам'ятовування найкращого джерела нектару.

2.3.4 Використання мурашиного методу для тематичного сегментування зображень з бортових систем спостереження

Мурашиний метод використовувався для пошуку найкоротшого шляху в графах [59]–[63], [97], [103] подальші дослідження призвели до появи багаточисельних модифікацій методу та продемонстрували його універсальність для вирішення широкого кола оптимізаційних задач [64]–[68]. Однією з важливих переваг методу являється його висока ефективність при оптимізації розподілених нестационарних систем. 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 методу та його різновидів до сегментування оптико-електронного зображення.

2.4 Порівняльна оцінка ройових оптимізаційних методів

Використання генетичних методів для сегментування ОЕЗ є недоцільним, враховуючи наступні недоліки [69], [97], [105]–[107]:

- висока ітеративність методів;
- сильна залежність якості генетичних методів від їх параметрів (розмір популяції, початкова точка пошуку, ймовірнісні характеристики генетичних операторів тощо);
- епістаз – внутрішня залежність між генами, що заковані в хромосомах;
- передчасна збіжність методів, що пов'язана з недостатньою різноманітністю хромосом в популяції, що призводить до знаходження локальних оптимумів, а не глобального.

Для порівняння ройових методів оптимізації обрано метод рою частинок, метод штучної бджолоїної колонії та мурашиний метод. Порівняння проведено за наступними параметрами: переваги, застосування, розвиток та наведено в табл. 2.1. При складанні табл. 2.1 використані результати, що наведені в [234].

Основні недоліки методу рою частинок [69]:

- швидкість збіжності носить випадковий характер;
- можливе зациклення в локальних оптимумах;
- залежність методу від керуючих параметрів;
- неповнота моделі поведінки частинок рою.

Таблиця 2.1 – Порівняльна оцінка ройових оптимізаційних методів [234]

Параметр порівняння	Метод рою частинок	Метод штучної бджолоїної колонії	Мурашиний метод
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> – низька алгоритмічна складність при реалізації; – ефективний для проведення глобальної оптимізації 	<ul style="list-style-type: none"> – можливість ефективного розділення на паралельні процеси; – висока швидкість роботи 	<ul style="list-style-type: none"> – ефективний для TSP (Travelling Salesman Problem) з невеликою кількістю вузлів; – використовується у додатках, що можуть адаптуватися до змін; – не залежить від невдалих початкових рішень
Застосування	<ul style="list-style-type: none"> – задачі машинного навчання; – задачі оптимізації функцій багатьох параметрів, форм, розмірів та топології; – область проектування; – біоінженерія, біомеханіка, біохімія 	<ul style="list-style-type: none"> – оптимізація управління; – оптимізація класифікаторів 	<ul style="list-style-type: none"> – розрахунки комп'ютерних та телекомунікаційних систем; – задачі комівояжера; – задачі розкраски графа; – задачі оптимізації мережевого трафіку
Розвиток	<ul style="list-style-type: none"> – представлення методу рою частинок у якості багатоагентної системи; – взаємодія з іншими ройовими методами 	<ul style="list-style-type: none"> – зниження залежності від встановлених параметрів; – об'єднання з генетичними методами 	<ul style="list-style-type: none"> – гібридизація з генетичними методами; – використання бази нечітких правил

Основні недоліки методу штучної бджолоїної колонії [69], [97], [106]–[107]:

- складність теоретичного аналізу, оскільки підсумкове рішення формується в результаті послідовності випадкових рішень; дослідження є більш експериментальними, ніж теоретичними;
- невизначеність часу збіжності;
- висока ітеративність методу;
- сильна залежність результатів роботи методу від початкових параметрів пошуку, що підбираються експериментально.

Метод рою частинок та метод штучної бджолоїної колонії мають основний недолік – передчасна збіжність до локальних оптимумів. Мурашиний метод проводить пошук глобального оптимуму, уникаючи локальні, та проводить пошук декількох оптимумів (або субоптимальних рішень), що розташовані в різних точках простору пошуку. Пошук декількох альтернативних субоптимальних рішень використовується у випадках, коли для прийняття остаточного висновку про можливість використання знайдених рішень на практиці необхідно виконати їх експертну оцінку, ґрунтуючись на додаткових критеріях.

Основними перевагами мурашиного методу є [69], [105]:

- несхильність до зациклення в локальних оптимумах;
- мультиагентність реалізації;
- пошук кращого рішення ґрунтується на рішеннях всіх агентів;
- здатність адаптуватися до змін навколишнього середовища;
- можливість використання для вирішення як дискретних, так і безперервних оптимізаційних задач.

Таким чином, для проведення подальшого дослідження у якості методу сегментування ОЕЗ обрано методи на основі мурашиних алгоритмів.

2.5 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 дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- 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;
- реалізовувати методи тематичного сегментування зображень в програмно-апаратних комплексах (ПАК) обробки ОЕЗ.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що відмінною рисою тематичного сегментування ОЕЗ є пошук раціональних рішень в багатомірному просторі, особливостями якого є нелінійність, недиференційованість, багатоекстремальність, овражність, відсутність аналітичного виразу

цільових функцій, висока обчислювальна складність, висока розмірність простору пошуку та складна топологія області допустимих значень. Це, в свою чергу, ускладнює знаходження рішення точними методами оптимізації.

2. Запропоновано для тематичного сегментування ОЕЗ використання метаевристичних методів оптимізації. Розглянуті основні операції метаевристичних методів. В подальшому основна увага приділена еволюційним та ройовим методам тематичного сегментування зображень.

3. Розглянуті особливості генетичних методів оптимізації, їх переваги та недоліки. Встановлено, що основними недоліками генетичних методів є: висока ітеративність методів; сильна залежність якості генетичних методів від їх параметрів (розміру популяції, початкової точки пошуку, імовірнісних характеристик генетичних операторів тощо); епістаз (внутрішня залежність між генами, що закодовані в хромосомах); передчасна збіжність методів, що пов'язана з недостатньою різноманітністю хромосом в популяції, яка приводить до знаходження локальних оптимумів, а не глобального.

4. Розглянуто використання ройових методів для тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Основними перевагами використання ройових методів є можливість їх ефективного розділення на паралельні процеси, висока швидкодія, оптимізація управління, зниження залежності від встановлених параметрів. Проаналізовані узагальнений ройовий метод, UML-діаграма класів ройових методів та UML-діаграма роботи узагальненого ройового методу.

5. Проаналізовані метод рою частинок, метод штучної бджолоїної колонії та мурашиний метод для тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС та наведена їх порівняльна оцінка.

6. Встановлено, що основними недоліками методу рою частинок є:

- випадковий характер швидкості збіжності;
- можливе зациклення в локальних оптимумах;

- залежність методу від керуючих параметрів;
- неповнота моделі поведінки частинок рою.

Основними недоліками методу штучної бджолиної колонії є:

– складність теоретичного аналізу, оскільки підсумкове рішення формується в результаті послідовності випадкових рішень, і дослідження є більш експериментальними, ніж теоретичними;

- невизначеність часу збіжності;
- висока ітеративність методу;
- сильна залежність результатів роботи методу від початкових параметрів пошуку, що підбираються експериментально.

7. Для проведення подальшого дослідження у якості методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС обрано методи на основі мурашиного алгоритму, основними перевагами якого є:

- несхильність до зациклення в локальних оптимумах;
- мультиагентність реалізації;
- пошук кращого рішення ґрунтується на рішеннях всіх агентів;
- здатність адаптуватися до змін навколишнього середовища;
- можливість використання для вирішення як дискретних, так і безперервних оптимізаційних задач.

8. Метою роботи є підвищення якості обробки зображень з бортових систем ОЕС шляхом застосування методів тематичного сегментування зображень на основі мурашиних алгоритмів. Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- 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 ПАК обробки ОЕЗ.

Список використаних джерел у розділі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [15]–[16], [35], [59]–[69], [73]–[75], [77]–[79], [95], [97], [103], [105]–[107], [202]–[206], [213]–[234].

РОЗДІЛ 3

МЕТОД ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У даному розділі стисло розглянуті особливості формування ОЕЗ, проведено математичне формулювання завдання тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС, удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, розглянуті дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу. Матеріали розділу викладені в роботах [90], [92], [94]–[98], [105]–[107].

3.1 Особливості формування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

При розгляді матеріалів даного підрозділу будемо опиратися на прикладні роботи [90], [92], [94]–[97], [235]–[236] та на розроблену в цих роботах модель формування ОЕЗ. Основні атмосферні фактори, що впливають на формування ОЕЗ з бортових оптико-електронних систем наведені на рис. 3.1 [236]. Оптична товщина атмосфери $\tau(r_1, r_2)$ на шляху між точками з координатами r_1 та r_2 визначається виразом (3.1) [235]–[236]:

$$\tau(r_1, r_2) = \int_{r_1}^{r_2} [\beta(r) + \sigma_{\text{розс}}(r)] dr, \quad (3.1)$$

де $\beta(r)$ – коефіцієнт поглинання на відстані r ;

$\sigma_{\text{розс}}$ – об'ємний коефіцієнт розсіяння.

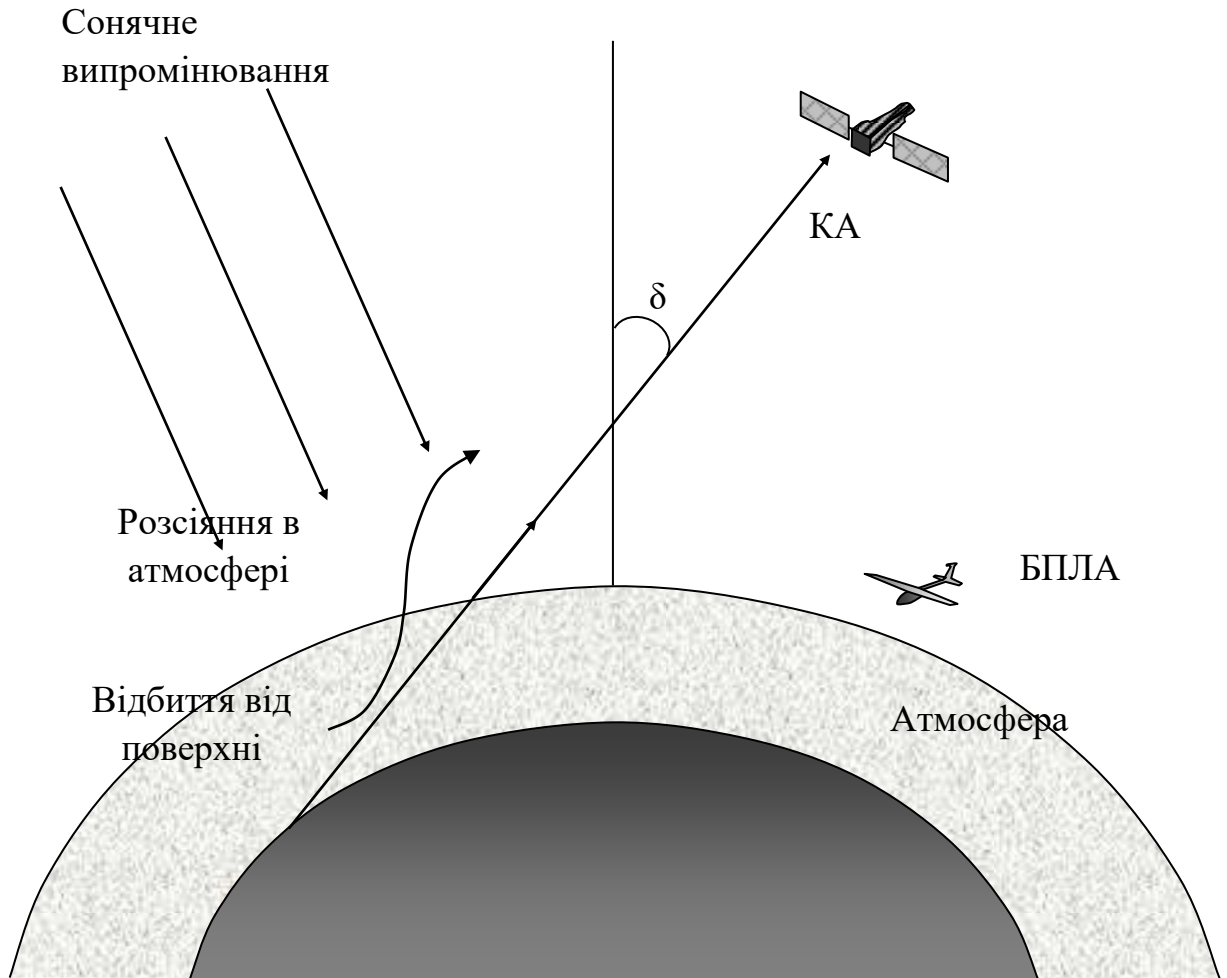


Рисунок 3.1 – Атмосферні фактори, що впливають на формування зображення з бортової системи ОЕС [236]

При малості ефектів багатократного розсіяння (в умовах справедливості закону Бугера) [235]–[236]:

$$I_1 = I_0 \exp(-\tau), \quad (3.2)$$

де I_0 та I_1 – інтенсивності випромінювання у початковій (на поверхні Землі) та в кінцевій (на орбіті космічного апарату (КА) (в точці знімання БПЛА)) точці відповідно.

Ефектами багатократного розсіяння можна нехтувати для зеленої (Green) та для більш довгохвильових ділянок спектру, але не для голубої (Blue) ділянки [235]–[236]. Вираз (3.2) може використовуватися при

спостереженні в надир. Для спостереження під кутом δ до надиру (рис. 3.1) для однорідної атмосфери інтенсивність випромінювання дорівнює [235]–[236]:

$$I_2 = I_0 \exp\left(\frac{-\tau}{\sin \delta}\right). \quad (3.3)$$

Вираз (3.3) не враховує кривизну Землі, однак існують методики [235], що дозволяють врахувати цей факт. У виразі (3.3) не враховується також вплив можливих горизонтальних локальних неоднорідностей (наявність туману, димки, хмар пилу тощо).

Для розрахунків за законом Бугера (3.1)–(3.2) необхідно знати оптичну товщину атмосфери τ . Це можна зробити, вимірюючи послаблення сонячної радіації [235]. З КА оптичну товщину атмосфери τ можна визначити, спостерігаючи яскравість об'єктів із задалегідь відомими оптичними характеристиками [235]–[236]. Грубо оцінити τ у видимій ділянці спектру можна також, використовуючи залежність між τ та метеорологічними характеристиками тропосфери – температурою повітря, швидкістю вітру, відносною вологістю та пружністю водяного пару [235]–[236]. Більш точніше врахувати вплив атмосфери можна на основі теорії переносу випромінювання в атмосфері, яка дозволяє оцінити яскравість об'єктів по даним вимірювань висхідного випромінювання шляхом розв'язування зворотньої задачі [235]–[236].

Розглянуті вище атмосферні фактори, а також особливості формування ОЕЗ з бортових систем спостереження суттєво впливають на те, що зображення з бортових систем ОЕС є складними (складноструктурованими). Такі складноструктуровані ОЕЗ мають недетерміновану та нелінійну структуру, складаються з великої кількості складових елементів, є семантично насиченими і містять різномірні області, в яких внутрішньокласові середньоквадратичні відхилення

характеристик є співмірними з міжкласовими [202]–[204].

Складноструктуровані ОЕЗ мають наступні особливості [202]–[204]:

- наявність великої кількості різнорідних об'єктів;
- об'єкти на зображенні відносяться до різних структурно-просторових елементів;
- кожному виду об'єкта притаманні власні значимі характеристики, що необхідно враховувати;
- об'єкти є морфологічно складними структурами;
- об'єкти є компактними та малоконтрастними у порівнянні з фоном.

Аналіз просторової структури ОЕЗ з бортових систем ОЕС показав, що на ОЕЗ доцільно виділити чотири типи структурно-просторових елементів, що відрізняються за статистичними і просторовими характеристиками [105], [202]–[204]:

- граничні та лінійні об'єкти, що характеризуються високим значенням градієнта в якому-небудь напрямку та низьким значенням градієнта в ортогональному йому напрямку;
- точкові об'єкти, що займають на зображенні не більше декількох пікселів, та мають значення інтенсивності, що суттєво відрізняється від значень інтенсивності в прилеглому окілу;
- протяжні (площинні) об'єкти – однорідні сегменти на зображенні, що мають лінійні розміри порядку декількох десятків пікселів в будь-якому напрямку;
- малорозмірні об'єкти, що представляють плями та не відповідають умовам віднесення до точкових, граничних і лінійних об'єктів, з лінійними розмірами менше 10 пікселів в будь-якому напрямку.

З урахуванням указаних вище особливостей зображень з бортових систем ОЕС характерними особливостями вирішення завдання їх тематичного сегментування є [105], [202]–[204]:

- великий об'єм даних (10^6 – 10^8 елементів розрізнення на ОЕЗ);
- обмежений обсяг або взагалі відсутність апріорної інформації щодо

кількості та ймовірнісних характеристиках об'єктів інтересу;

- розміри об'єктів інтересу значно менше розміру фонових об'єктів;
- наявність факторів, що спотворюють ОЕЗ, які обумовлені особливостями функціонування бортової апаратури, умовами ведення спостереження, просторовим положення тощо, та які приводять до виникнення шумів (АБГШ, спекл-шум та шум типу "сіль та перець") на зображенні, зміни масштабу та повороту зображення;

- неоднорідність значення яскравості в межах відповідних структурно-просторових елементів.

Таким чином, до методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС висувуються наступні вимоги:

- можливість паралельної обробки великих масивів зображень;
- можливість виділення сегментів різного розміру та форми в умовах мінімальної апріорної інформації;
- забезпечення вимог щодо якості сегментування;
- можливість виділення наперед невідомої кількості сегментів;
- робота в умовах впливу факторів, що спотворюють ОЕЗ (шуми, зміна масштабу та поворот зображення);
- простота налаштування параметрів методу.

3.2 Математичне формулювання завдання тематичного сегментування оптико-електронного зображення з бортової системи спостереження

Сегментуванням вихідного зображення з бортової системи ОЕС $f(x,y)$ є відображення (3.4) [90], [92], [94]–[97], [105]–[107]

$$f(x,y) \rightarrow f_s(x,y), \quad (3.4)$$

де $f(x,y)$ – вихідне ОЕЗ;

$fs(x,y)$ – сегментоване зображення.

Сегментування вихідного ОЕЗ $f(x,y)$ відповідно до виразу (3.4) 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 (3.4), передбачає розбиття $f(x,y)$ на сегменти B_i , що задовольняє умовам (3.5):

$$\begin{cases} \bigcup_{i=1}^K B_i = B; \\ B_i \cap B_j = \emptyset, \text{ для } i \neq j; \forall i, j = \overline{1, K}; \\ LP(B_i) = 1; \forall i = \overline{1, K}; \\ LP(B_i \cap B_j) = 0, \text{ для } i \neq j; \forall i, j = \overline{1, K}, \end{cases} \quad (3.5)$$

де $B: B = \{B_1, B_2, \dots, B_K\}$ – сегменти на зображенні $fs(x,y)$;

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 будь-яка пара точок з кожного сегменту B_i задовольняє деякому критерію однорідності – вираз (3.6):

$$LP(B_i) = \begin{cases} 1, \text{ при } f(x_1, y_1) = \dots = f(x_M, y_M); \\ 0, \text{ в іншому випадку,} \end{cases} \quad (3.6)$$

де $(x_m, y_m) \in B_i$, $m=1, 2, \dots, M$;

M – кількість точок в сегменті B_i ,

або

$$LP(B_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } |f(x_m, y_m) - f(x_1, y_1)| \leq T; \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (3.7)$$

де $(x_m, y_m), (x_1, y_1)$ – довільні точки сегменту B_i ;

T – деякий заданий поріг.

Результатом тематичного сегментування ОЕЗ є розділення зображення на штучні об'єкти (об'єкти інтересу) та природні об'єкти (фон), тобто кількість сегментів на сегментованому зображенні дорівнює $K=2$ [90], [92], [94]–[97], [105]–[107].

3.3 Сутність методу тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиного алгоритму

Узагальнений опис мурашиного алгоритму можна представити виразом (3.8) [214]–[215]:

$$ACO = \{S, M_1, A, P, In, Out\}, \quad (3.8)$$

де ACO – ant colony optimization (оптимізація методом мурашиної колонії або мурашиний алгоритм);

S – множина агентів;

M_1 – об'єкт для обміну досвідом між агентами (мурахами) S ;

A – правила роботи мурашиного алгоритму (створення, поведінка, модифікація агентів);

P – параметри, що використовуються в правилах A (евристичні коефіцієнти);

In, Out – вхід та вихід мурашиного алгоритму (здійснюється взаємодія з зовнішнім середовищем та системою управління).

Схема зв'язку агентів з зовнішнім середовищем наведена на рис. 3.2.

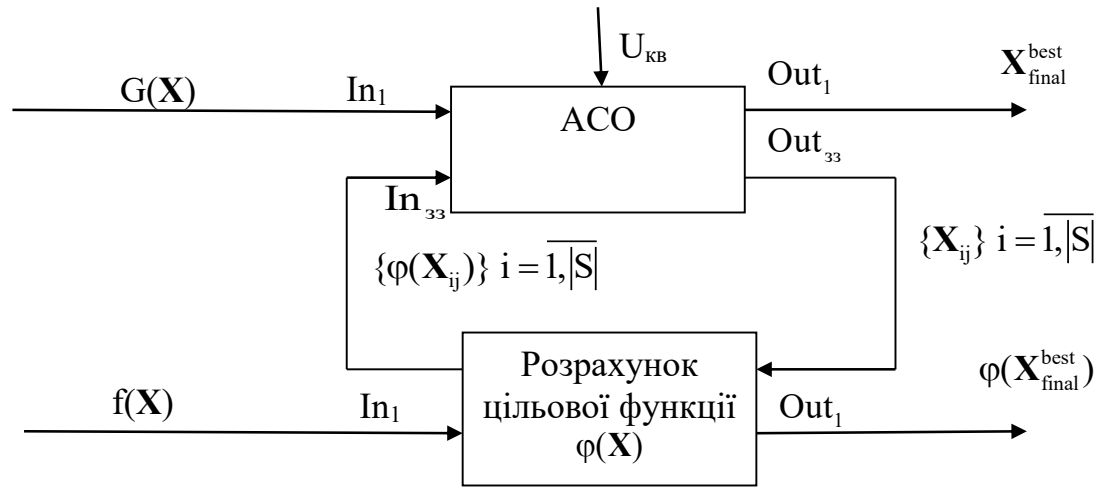


Рисунок 3.2 – Схема зв'язку агентів із зовнішнім середовищем

На рис. 3.2 використані наступні позначення: $In = \{In_1, In_{33}\}$, In_1 – входи, на які подаються цільова функція $\varphi(\mathbf{X}_{ij})$ та обмеження $G(\mathbf{X})$, $\mathbf{X}(x, y)$ – вектор положень агентів; $\mathbf{X}_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ – вектор положень агентів на j -ій ітерації в i -ій точці зображення, In_{33} – вхід для зворотного зв'язку, $Out = \{Out_1, Out_{33}\}$, Out_1 – виходи для кращого знайденого рішення $\mathbf{X}_{final}^{best}$ та оптимального значення цільової функції $\varphi(\mathbf{X}_{final}^{best})$, Out_{33} – вихід для зворотного зв'язку, U_{kv} – керуючий вплив (початок, зупинка, кількість агентів, параметри методу).

В найпростішому випадку тематичне сегментування зображення на основі мурашиних алгоритмів можна представити як сукупність наступних ділянок руху агентів (рис. 3.3) [105]: вихідна точка маршруту (ВТМ), прями ділянки, кінцева точка маршруту (КТМ). Прямі ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна напрямку руху агента. У подальшому вважаємо, що положення ВТМ, КТМ та ПТМ повністю визначає маршрут руху агента.

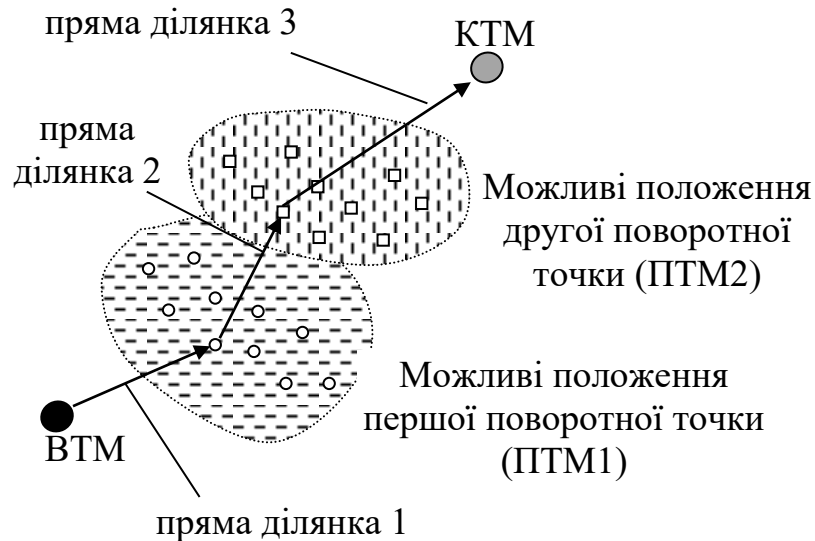


Рисунок 3.3 – Приклад представлення маршруту руху агента при сегментуванні зображення

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. Продемонструємо як прокласти маршрут руху з використанням мурашиного алгоритму.

Мурашиний алгоритм заснований на імітації природнього механізму пошуку найкоротшого шляху до джерела їжі колонією мурах (агентів). Самоорганізація системи забезпечується низькорівневою взаємодією агентів (об'єкт M_1 для обміну досвідом між агентами у виразі (3.8)). 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 знаходитися поблизу маршруту руху першого, сприймає феромон та з високою ймовірністю продовжить рух по шляху першого агента, в свою

чергу відкладаючи феромон (підвищуючи його концентрацію на маршруті). Чим вище концентрація феромону на маршруті, тим вища привабливість цього маршруту для наступних агентів. Розподіл феромону на зображенні являється немовби динамічною пам'яттю системи. Кожний агент в певний момент часу сприймає та змінює одну комірку цієї пам'яті – рівень феромону в околі точки, в якій агент знаходиться.

Концентрація феромону, що відкладений 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 збільшуватися на привабливих маршрутах, а швидкість випаровування феромону є постійною, то через деякий час непривабливі маршрути зникнуть, і все більше агентів будуть здійснювати рух лише по вдалих маршрутах. Використання зворотного зв'язку (випаровування) попереджує завчасну збіжність рішень – вибір агентами одного і того ж субоптимального маршруту.

Отже, тематичне сегментування зображення на основі мурашиного алгоритму може бути представлено наступним чином [90], [92], [94]–[97], [105]–[107].

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 S дорівнює кількості пікселів на вихідному зображенні.

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

У якості цільової функції на j -ій ітерації будемо визначати наступну функцію (вираз (3.9)):

$$\varphi_j(\mathbf{X}) = \sum_{m=1}^S \sum_{i=1}^N (P_i^m(j) D_i^m(j)), \quad (3.9)$$

де m – поточний номер агенту;

N – розмір зображення;

$P_i^m(j)$ – ймовірність переходу m -го агента в i -ту ПТМ на j -ій ітерації (вираз (3.10)):

$$P_i^m(j) = \frac{(F_i^m(j))^\alpha (L_i^m(j))^\beta}{\sum_{r=1}^R (F_r^\alpha(j) \cdot L_r^\beta(j))}, \quad (3.10)$$

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

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 $D_i^m(j)$ визначає довжину ділянки маршруту з урахуванням різниці яскравостей сусідніх пікселів для m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації та визначається за виразом (3.11):

$$D_i^m(j) = |\Delta x_i^m(j)| + |\Delta y_i^m(j)| + k |\Delta f_i^m(j)|, \quad (3.11)$$

$|\Delta x_i^m(j)|$, $|\Delta y_i^m(j)|$ – 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 та різні одиниці виміру елементарних

переміщень та яскравості. 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 (3.12):

$$|\Delta f_i^m(j)| = |f(x_i^m(j), y_i^m(j)) - f(x_{i-1}^m(j), y_{i-1}^m(j))|. \quad (3.12)$$

3. Переміщення агентів. В простішому мурашиному алгоритмі в кожній ітерації ітераційного процесу m агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на знайденому маршруті. Кожний m -ий агент при сегментуванні зображення починає шлях з ВТМ, послідовно проходить вибрані методом ПТМ і завершує шлях в одній з КТМ. Переміщення агентів проводиться по критерію мінімуму цільової функції (3.9), яка, з урахуванням чотирьохзв'язності переміщення агентів (вираз (3.13)):

$$|\Delta x_i^m(j)| + |\Delta y_i^m(j)| = 1, \quad (3.13)$$

приймає вигляд (3.14):

$$\varphi_j(\mathbf{X}) = \sum_{m=1}^S \sum_{i=1}^N \left(P_i^m(j) \left(1 + k |f(x_i^m(j), y_i^m(j)) - f(x_{i-1}^m(j), y_{i-1}^m(j))| \right) \right) \rightarrow \min. \quad (3.14)$$

Вважаємо, що привабливість ділянки маршруту $L_i^m(j)$ для m -го агента в i -ій точці зображення на j -ій ітерації обернено залежить від довжини ділянки маршруту, наприклад (вирази (3.15)–(3.17)):

$$L_i^m(j) = \frac{1}{D_i^m(j)}, \quad (3.15)$$

$$L_i^m(j) = \frac{1}{1 + \frac{D_i^m(j)}{D_0}}, \quad (3.16)$$

$$L_i^m(j) = \frac{1}{1 + e^{\frac{D_i^m(j)}{D_0}}}, \quad (3.17)$$

де D_0 – характерний масштаб. Зміст його в тому, що при $D_i^m(j) = D_0$ привабливість приймає рівноважне значення для виразу (3.15); $\frac{1}{2}$ для виразу (3.16); $\frac{1}{1+e}$ для виразу (3.17).

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 (3.18):

$$F_i^m(j+1) = (1 - \rho)F_i^m(j) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (3.18)$$

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 сегментування 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, то отримується сегментоване зображення $fs(\mathbf{X})$. В іншому випадку – здійснюється перехід до другого пункту.

Параметри P (вираз (3.8)) методу визначаються як $P(\alpha, \beta, \rho, F_0)$.

Схема методу тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму наведена на рис. 3.4.

Перевірку працездатності методу тематичного сегментування на основі мурашиного методу проведемо на контрольному прикладі [105]. Для наочності представлення результатів в усіх прикладах застосована прямокутна система координат, у якій ВТМ, КТМ і ПТМ знаходяться в одній горизонтальній площині. Вихідні дані:

- кількість ВТМ $N_{\text{ВТМ}}=1$;
- кількість КТМ $N_{\text{КТМ}}=1$;
- кількість можливих ПТМ1 $N_{\text{ПТМ1}}=20$;
- кількість можливих ПТМ2 $N_{\text{ПТМ2}}=20$ (положення ВТМ, КТМ, ПТМ1 та ПТМ2 показані на рис. 3.5);
- "жадібність" методу $\beta=1$;
- вага феромонів $\alpha=2$;
- швидкість випаровування феромону $\rho=10^{-3}$;
- кількість ітерацій методу $N=400$;
- кількість агентів в ітерації $m=10$;
- початкова кількість феромону $F_0=10^{-2}$.

В результаті N ітерацій маршрут руху агента на зображенні наведений на рис. 3.5 жирною суцільною лінією. Переривчастою лінією показано оптимальний маршрут руху агентів (еталонне сегментування). Привабливість ділянок маршруту розраховувалась за виразом (3.15).

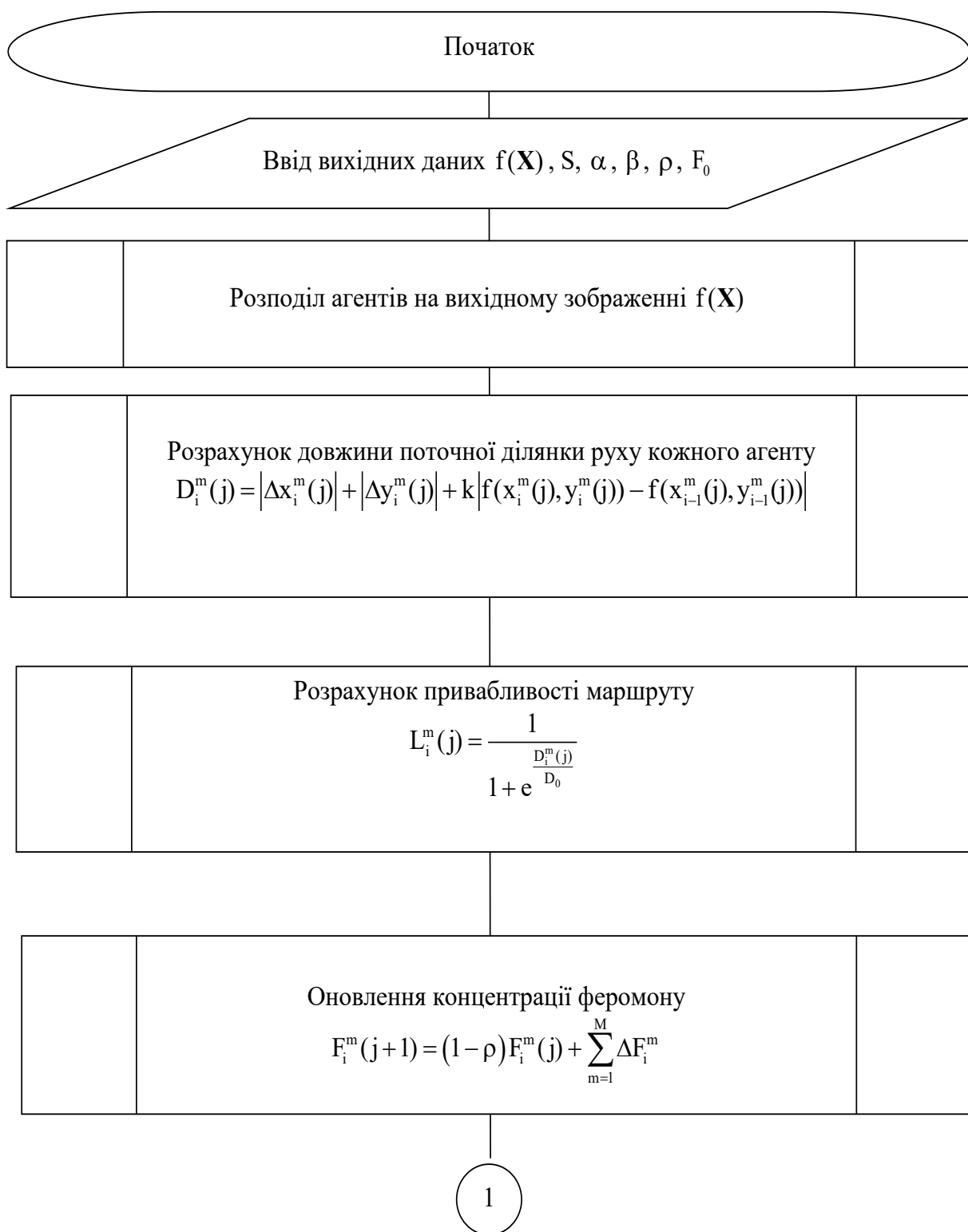


Рисунок 3.4 – Схема методу тематичного сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму, аркуш 1

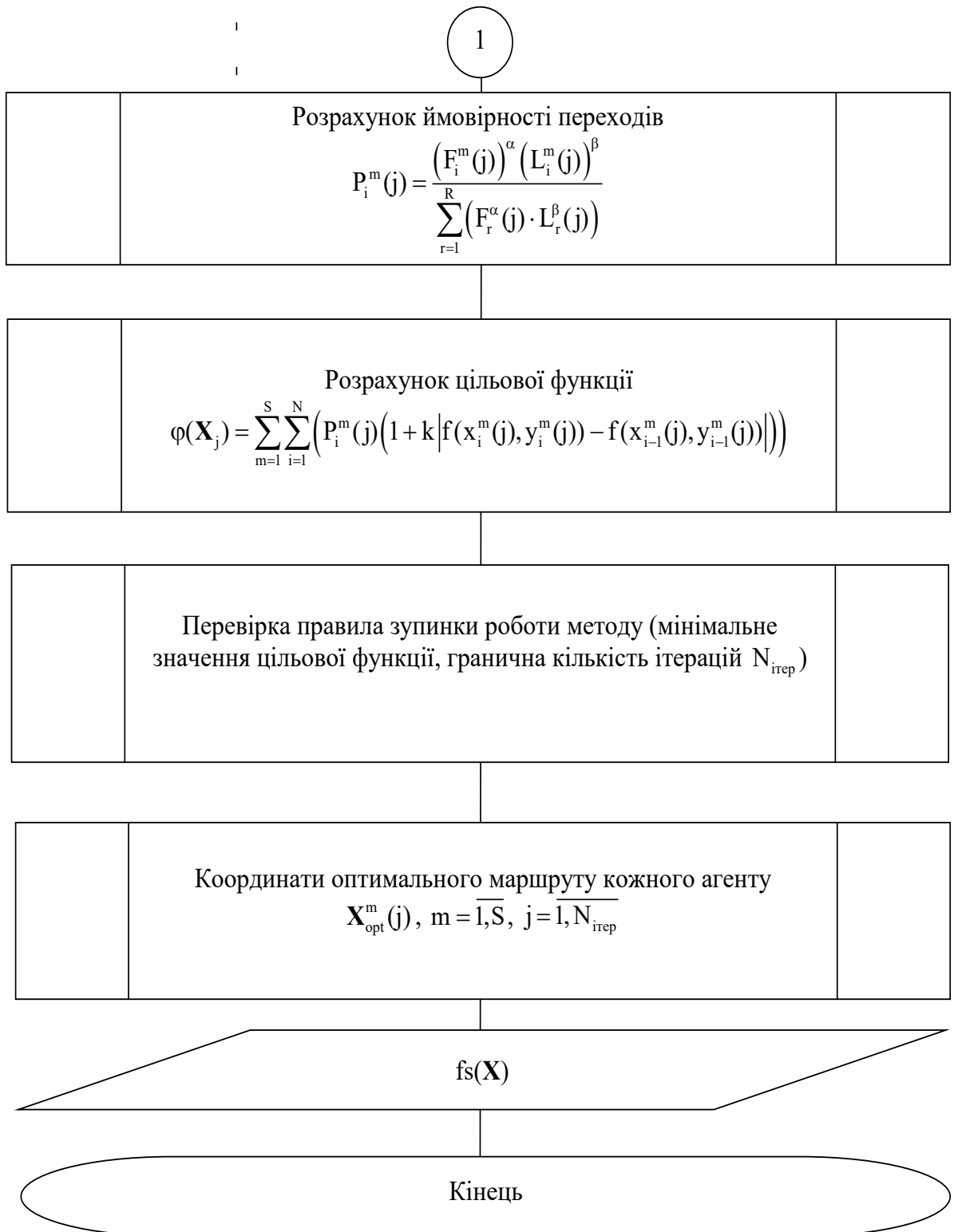


Рисунок 3.4 , аркуш 2

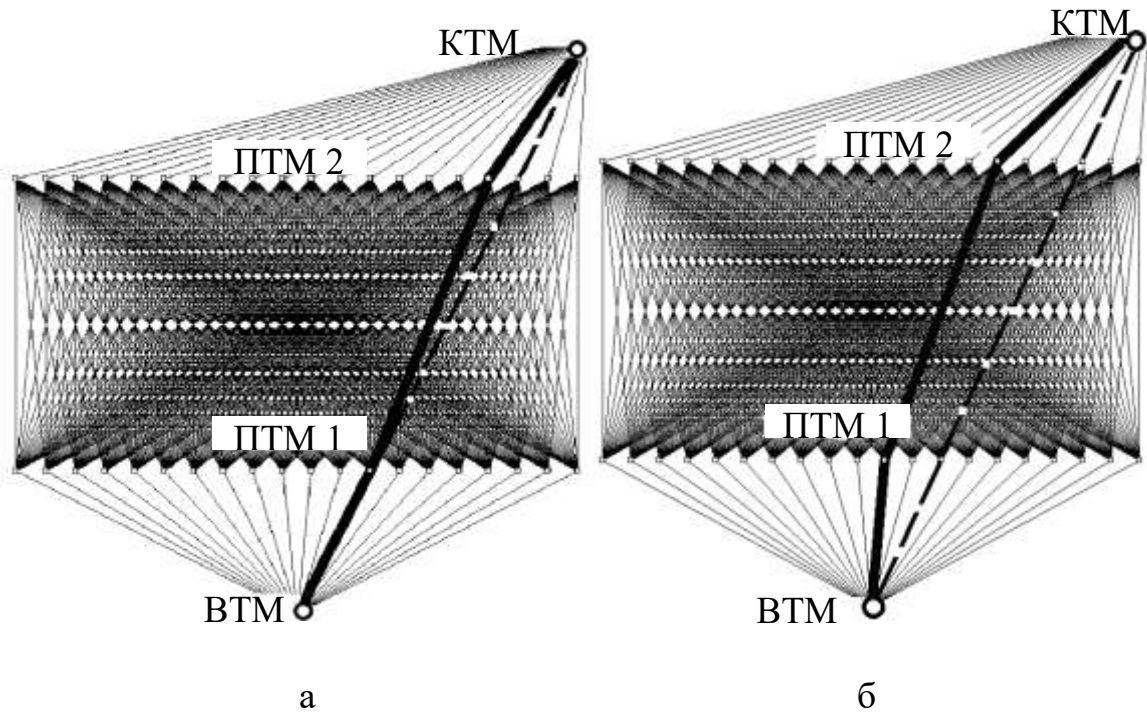


Рисунок 3.5 – Результати роботи методу сегментування зображення на основі мурашиного алгоритму для вихідних даних контрольного прикладу:

- а) маршрут руху агентів відрізняється від оптимального маршруту,
- б) маршрут руху агентів істотно відрізняється від оптимального маршруту

З аналізу рис. 3.5а видно, що отриманий маршрут руху агентів незначно відрізняється від оптимального маршруту. Проте, як показано на рис. 3.5б, можливі і реалізації методу з відверто невдалими результатами, що вказує на необхідність проведення подальшого дослідження.

3.4 Тематичне сегментування тонових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості вихідного будемо розглядати зображення з бортової системи ОЕС КА WorldView-1 (рис. 3.6) [237]–[238]. Зображення – це район катастрофи лайнера Costa Concordia (рис. 3.6а) та зображення міста Сан-Франциско (США) (рис. 3.6б). Зображення представлені в тонових

градаціях в діапазоні градацій сірого кольору від 0 до 255. Розміри зображень на рис. 3.6 – (640x640) пікселів.



а

б

Рисунок 3.6 – Вихідні тонові зображення: а) район катастрофи лайнера Costa Concordia, б) зображення міста Сан-Франциско (США) [237]–[238]

Параметри методу тематичного сегментування тонових зображень на основі мурашиного алгоритму наведені в табл. 3.1 [90], [92], [94]–[97], [105]–[107].

Таблиця 3.1 – Параметри методу тематичного сегментування тонових зображень на основі мурашиного алгоритму

Найменування параметру	S, шт.	α	β	ρ	F_0
Значення параметру	409600 (кількість пікселів на зображенні)	2	1	10^{-3}	10^{-2}

На рис. 3.7 наведені сегментовані ОЕЗ. Умовою зупинки методу тематичного сегментування тонових зображень на основі мурашиного алгоритму є гранична кількість ітерацій (50 ітерацій).

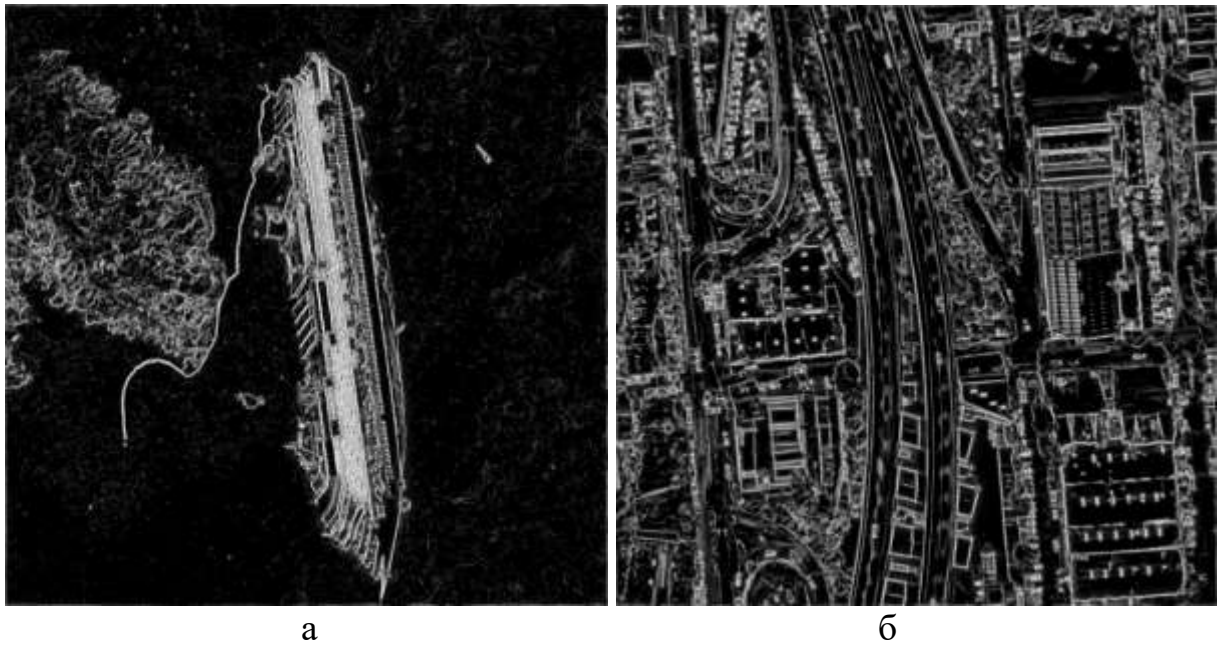


Рисунок 3.7 – Сегментовані тонові зображення методом тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму: а) район катастрофи лайнера Costa Concordia, б) зображення міста Сан-Франциско (США)

З рис. 3.7 видно, що візуальна оцінка якості сегментованих ОЕЗ дозволяє визначити об'єкти інтересу – стан пошкоджень лайнера, об'єкти міської інфраструктури, транспорт тощо. Розрахунки проводилися з використанням мови програмування високого рівня та інтерактивного середовища для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів MATLAB R2017b.

3.5 Тематичне сегментування кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості вихідного будемо розглядати кольорове зображення з бортової системи ОЕС КА Ikonos (рис. 3.8) [239]. Це територія Донецького аеропорту у 2015 році. Зображення представлено в кольоровому просторі RGB. Розмір зображення – (868x847) пікселів.



Рисунок 3.8 – Вихідне кольорове зображення [239]

Відомо [48]–[52], що якість обробки, дешифрування та сегментування кольорового зображення в більшій мірі залежить від яскравості зображення та в меншій мірі від кольоровості та насиченості. В даній роботі розглядається кольорове зображення в кольорову просторі RGB [98].

На рис. 3.9 наведені гістограми розподілу яскравості по кожному каналу яскравості (представлена залежність яскравості U від кількості пікселів N для кольорових каналів R, G, B, відповідно) [106]–[107]. З аналізу гістограм (рис. 3.9) видно, що вони не є унімодальними, що ускладнює проведення тематичного сегментування.

Для тематичного сегментування кольорового зображення запропоновано метод на основі мурашиного алгоритму (рис. 3.10), який передбачає [90], [92], [94]–[97], [105]–[107]:

- 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);

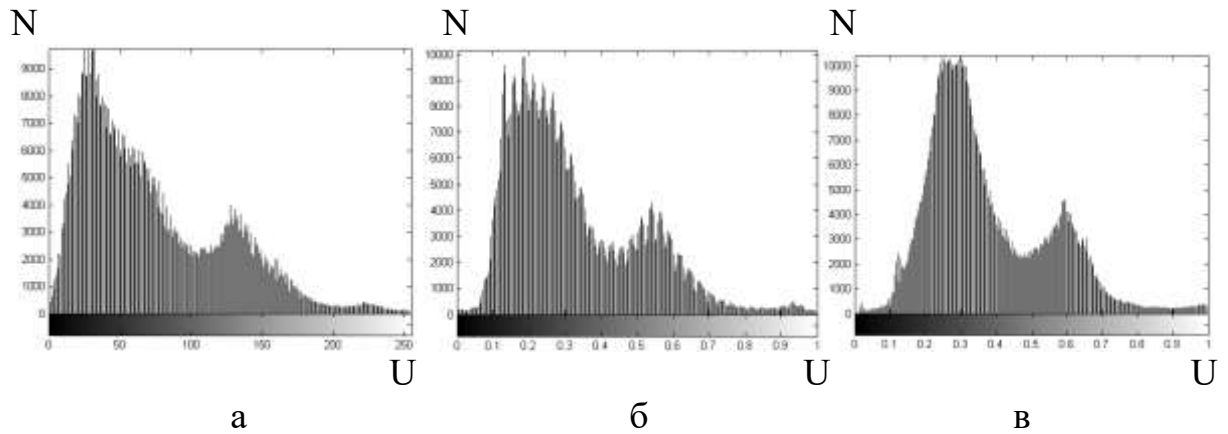


Рисунок 3.9 – Гістограми розподілу яскравості вихідного кольорового зображення (рис. 3.8) в кольорових каналах: а) Red, б) Green, в) Blue

– 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 (рис. 3.4) 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 $fs(\mathbf{X})$.

На рис. 3.11 наведені зображення каналу яскравості кожного кольорового каналу кольорового простору RGB вихідного зображення (рис. 3.8). Тематичне сегментування в кожному кольоровому каналі проводиться методом на основі мурашиного алгоритму (рис. 3.4). Кількість ітерацій дорівнює 50. Параметри методу тематичного сегментування каналів яскравості кожного кольорового каналу зображення на основі мурашиного алгоритму наведені в табл. 3.2.



Рисунок 3.10 – Схема методу тематичного сегментування кольорового зображення (кольоровий простір RGB) бортової системи ОЕС на основі мурашиного алгоритму



а б в
Рисунок 3.11 – Зображення каналу яскравості вихідного кольорового зображення (рис. 3.8) в кольорових каналах: а) Red, б) Green, в) Blue

Таблиця 3.2 – Параметри методу тематичного сегментування каналів яскравості кольорового зображення на основі мурашиного алгоритму

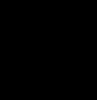


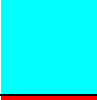
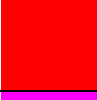

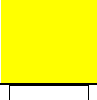

Найменування параметру	S, шт.	α	β	ρ	F_0
Значення параметру	735196 (кількість пікселів на зображенні)	2	1	10^{-3}	10^{-2}

Зворотній перехід до кольорової моделі RGB здійснюється шляхом об'єднання кольорових каналів з використанням правила змішування кольорів та законів математичної логіки (табл. 3.3) [98].

На рис. 3.12 для наочності наведена тривимірна візуалізація вихідного зображення (рис. 3.8) у вигляді хмари точок у кольоровому просторі RGB відповідної яскравості [90], [92], [94]–[97], [105]–[107].

Результат тематичного сегментування вихідного кольорового зображення (рис. 3.8) методом на основі мурашиного алгоритму наведений на рис. 3.13.

Таблиця 3.3 – Правила об'єднання кольорових каналів сегментованого зображення

Червоний (red)	Зелений (green)	Блакитний (blue)	Результат об'єднання кольорових каналів	
0	0	0		чорний (black)
0	0	1		блакитний (blue)
0	1	0		зелений (green)
0	1	1		циановий (cyan)
1	0	0		червоний (red)
1	0	1		пурпурний (magenta)
1	1	0		жовтий (yellow)
1	1	1		білий (white)

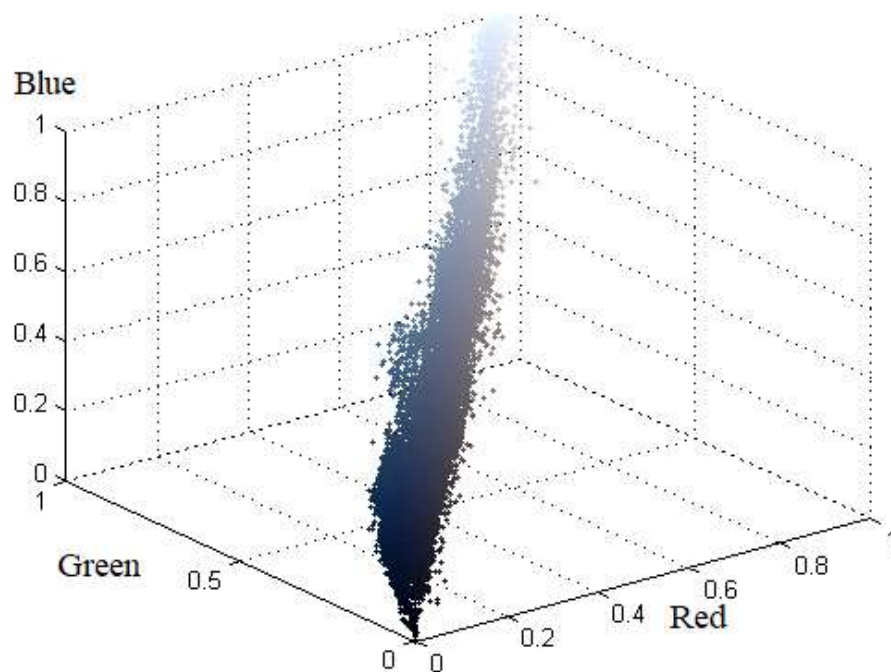


Рисунок 3.12 – Представлення вихідного зображення (рис. 3.8) у вигляді хмари точок у кольоровому просторі RGB



Рисунок 3.13 – Результат тематичного сегментування вихідного кольорового зображення (рис. 3.8) методом на основі мурашиного алгоритму

На сегментованому зображенні (рис. 3.13) в подальшому можуть бути визначені об'єкти інтересу, наприклад (рис. 3.14): ємності з нафтою або паливом для літаків; літаки, що вціліли після завдання удару; літаки, що були пошкоджені або знищені тощо [105].

З порівняння рис. 3.14 та рис. 3.8 видно, що виділені на рис. 3.14 контури основних об'єктів інтересу співпадають з границями об'єктів на вихідному зображенні (рис. 3.8). Дешифрування указаних об'єктів інтересу, розпізнавання, тематична класифікація та інше є предметом подальших досліджень і залишається за межами даної роботи.

Необхідно відмітити наявність на сегментованому зображенні великої кількості виділених контурів об'єктів малого розміру, так званих "сміттєвих" об'єктів. Приклад такої області з великою кількістю об'єктів малого розміру ("сміттєвих" об'єктів) наведений на рис. 3.15 і відмічений у вигляді еліпсу. Аналогічні області спостерігаються і на інших частинах сегментованого зображення.



Рисунок 3.14 – Можливі об'єкти інтересу на сегментованому зображенні



Рисунок 3.15 – Приклад області з великою кількістю об'єктів малого розміру ("сміттєвих" об'єктів) на сегментованому зображенні

Для прикладу проведемо сегментування кольорових зображень з бортової системи ОЕС КА WorldView-3 (рис. 3.16 [240]–[241]). Зображення в кольоровому просторі RGB розміром (640x640) пікселів – нафтовий термінал в Нігерії (рис. 3.16а) та аеропорт Бориспіль (рис. 3.16б). На рис. 3.17 наведені сегментовані зображення.

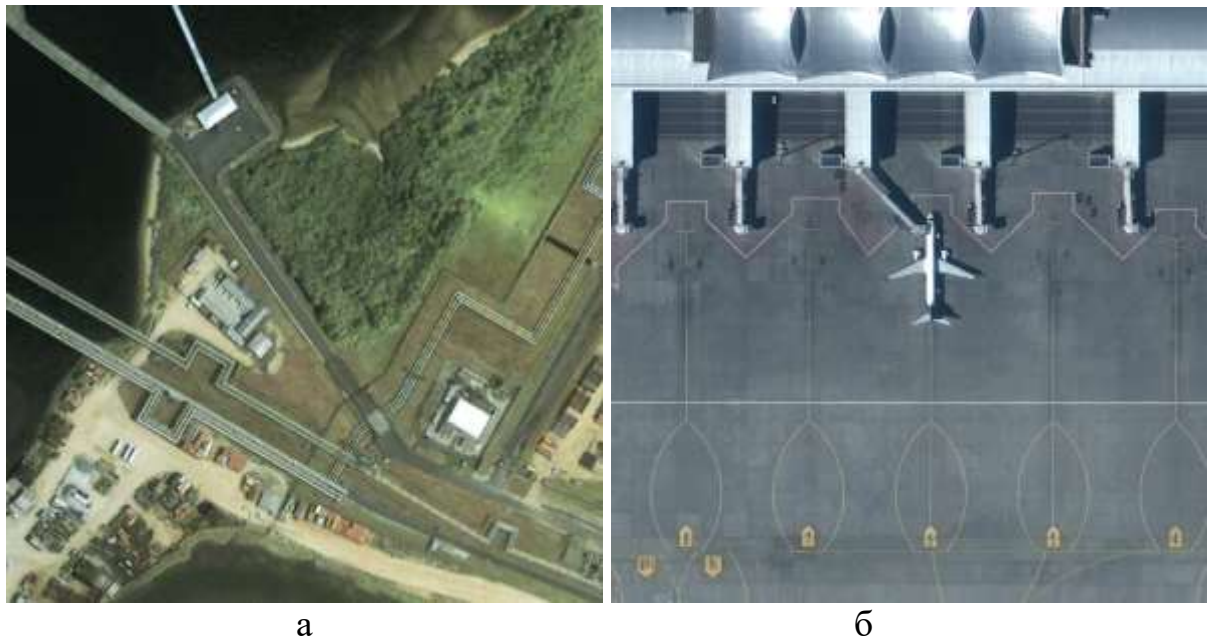


Рисунок 3.16 – Вихідні кольорові зображення: а) нафтовий термінал в Нігерії, б) аеропорт Бориспіль [240]–[241]

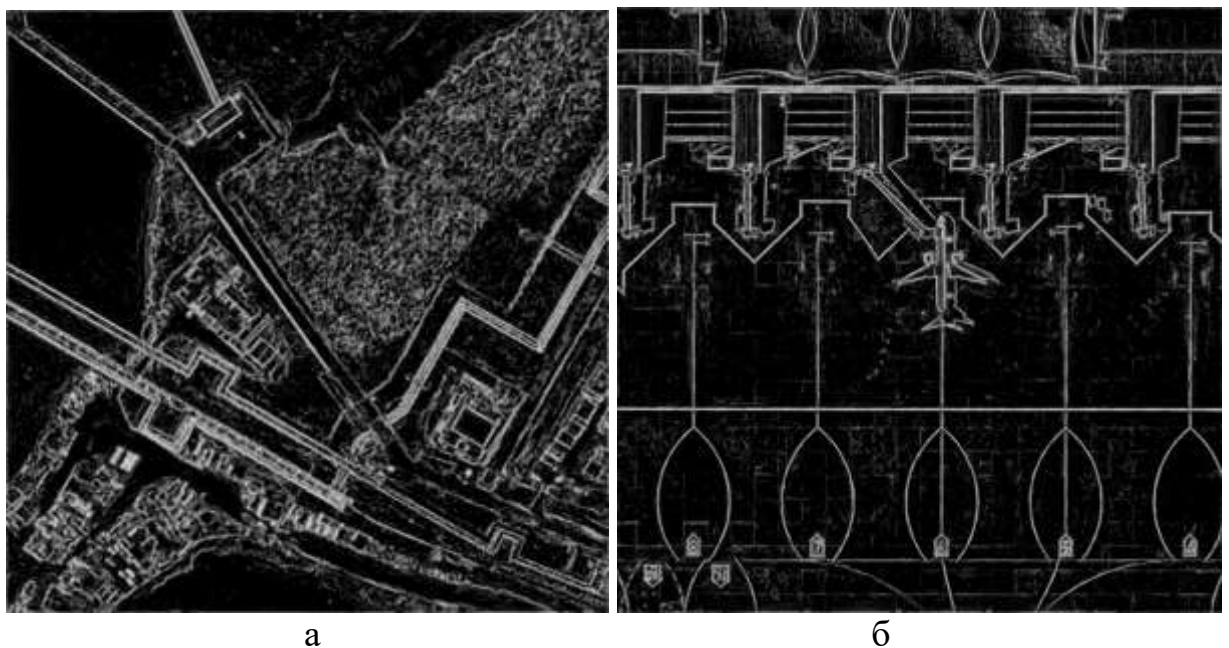


Рисунок 3.17 – Сегментовані кольорові зображення: а) нафтовий термінал в Нігерії, б) аеропорт Бориспіль

На сегментованих зображеннях (рис. 3.17) можуть бути визначені об'єкти інтересу, але необхідно відмітити наявність на сегментованому зображенні великої кількості "сміттєвих" об'єктів. З метою зменшення областей з великою кількістю об'єктів малого розміру ("сміттєвих" об'єктів) на сегментованому зображенні розглянемо метод тематичного сегментування на основі мурашиних алгоритмів з використанням елітних агентів.

3.6 Тематичне сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів

Особливостями методу сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів є те, що тільки найкращі агенти підвищують рівень феромону на своїх маршрутах, а також те, що рівень феромону на маршрутах обмежений. Оновлення рівня феромону на маршрутах здійснюється за виразом (3.19):

$$F_i^m(j+1) = \left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right]_{F_{\min}}^{F_{\max}}, \quad (3.19)$$

де F_{\max} та F_{\min} – максимальне та мінімальне значення рівня феромону [105];

$\left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right]_{F_{\min}}^{F_{\max}}$ – оператор, який визначається за виразом (3.20):

$$\left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right]_{F_{\min}}^{F_{\max}} = \begin{cases} F_{\max}, & \text{якщо } \left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right] > F_{\max}; \\ F_{\min}, & \text{якщо } \left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right] < F_{\min}; \\ \left[(1-\rho)F_i^m(j) + \Delta F_i^{\text{best}} \right], & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (3.20)$$

ΔF_i^{best} визначається за виразом (3.21) [105]:

$$\Delta F_i^{\text{best}} = \begin{cases} \frac{1}{L_{\text{best}}}, & \text{коли } i \text{ – кращий маршрут в ітерації;} \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (3.21)$$

де L_{best} – довжина маршруту кращого агента. Це може бути або найкращий маршрут, знайдений в поточній ітерації – L_{ib} (iteration best), або найкраще рішення, знайдене з початку роботи методу – L_{bs} (best-so-far).

Перевірка працездатності методу сегментування зображень на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів була здійснена з використанням даних контрольного прикладу [105]. На відміну від класичного мурашиного алгоритму, при використанні методу сегментування зображень на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів оптимальний маршрут руху агентів був знайдений в усіх реалізаціях. На рис. 3.18 послідовно показана робота методу після 40, 80, 200 та 400 ітерацій [105].

З аналізу рис. 3.18 видно, що після 40 ітерацій рівень феромону на всіх маршрутах ще незначно відрізняється від початкового рівня F_0 , проте агенти вже позначили феромонами два маршрути як кращі (більш жирні лінії). Після 80 ітерацій рівень феромону на всіх маршрутах, крім кращих, значно зменшується внаслідок випаровування (відповідні лінії стали тоншими), чітко виділяються три кращі маршрути, між якими в подальшому "йде суперечка". Після 200 ітерацій вже чітко виділяється кращий маршрут, хоча декілька маршрутів ще намагаються "вести суперечку", після 400 ітерацій кращий маршрут (який і є оптимальним), очевидно, домінує.

Результати сегментування вихідного зображення (рис. 3.8) методом на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів наведені на рис. 3.19–3.21.

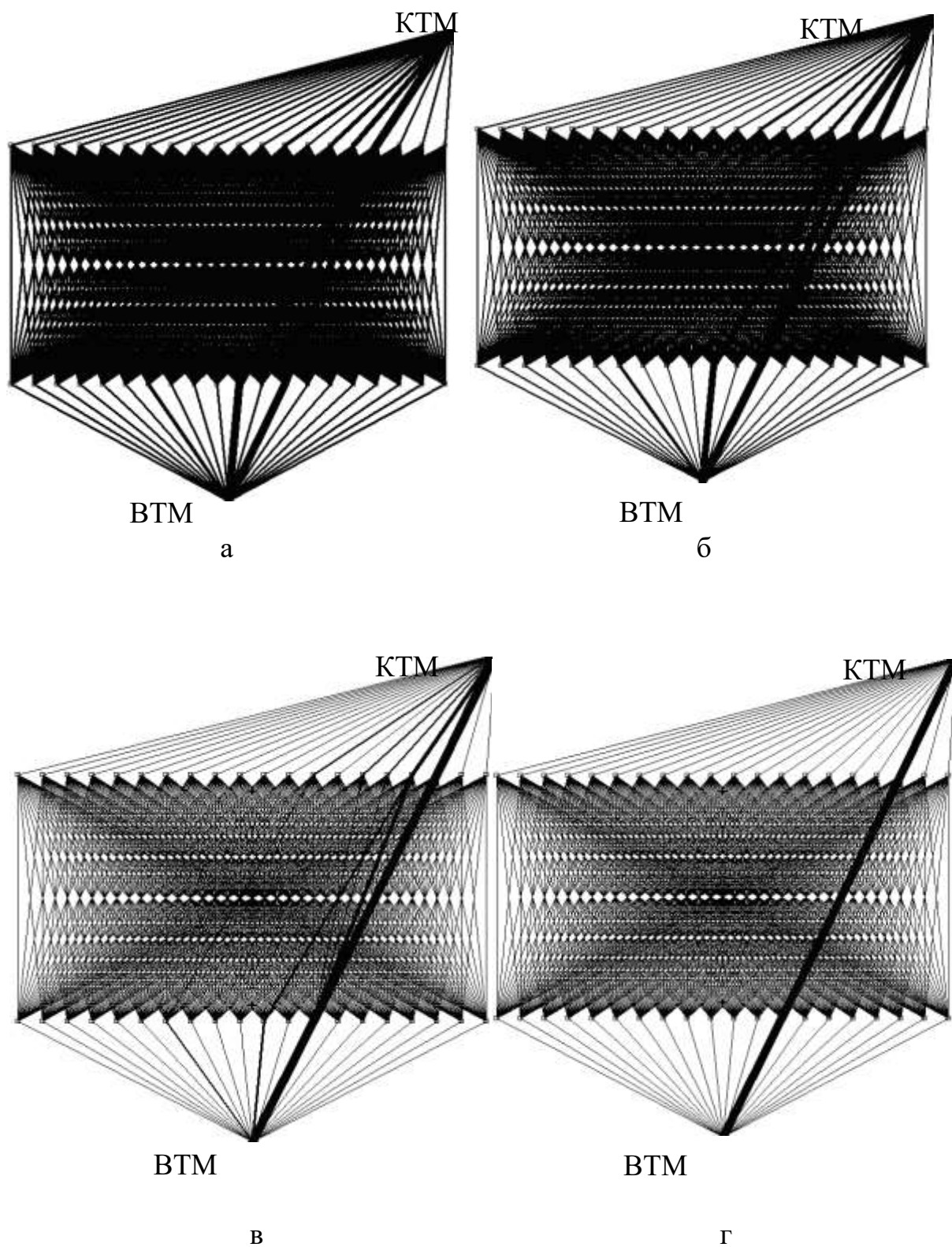


Рисунок 3.18 – Результати роботи методу сегментування зображень на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів для вихідних даних контрольного прикладу: а) після 40 ітерацій, б) після 80 ітерацій, в) після 200 ітерацій, г) після 400 ітерацій



Рисунок 3.19 – Сегментоване зображення методом на основі мурашиного алгоритму з 1% елітних агентів

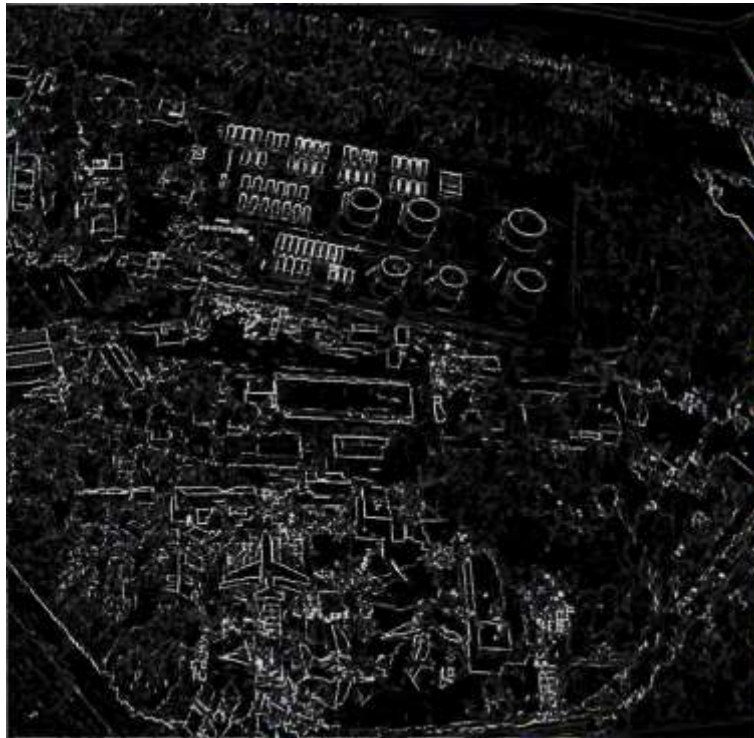


Рисунок 3.20 – Сегментоване зображення методом на основі мурашиного алгоритму з 5% елітних агентів



Рисунок 3.21 – Сегментоване зображення методом на основі мурашиного алгоритму з 10% елітних агентів

На рис. 3.19–3.21 відсоток елітних агентів складає 1%, 5% та 10% відповідно. Візуальна якість зображень рис. 3.19–3.21 дозволяє стверджувати про візуальне зменшення "сміттєвих" об'єктів на сегментованих зображеннях. В той же час використання елітних агентів може привести до знаходження не глобального, а локальних мінімумів цільової функції, що може вплинути на якість сегментування.

3.7 Дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу на оптико-електронних зображеннях

Виявлення та розпізнавання простих і складних об'єктів у процесі дешифрування ОЕЗ здійснюється за їх дешифрувальними ознаками. Інформативність ознак виражає їх придатність для прийняття правильного

рішення в процесі дешифрування. Оцінка інформативності ознак використовується для того, щоб забезпечити необхідну ефективність дешифрування в інтерактивному режимі при мінімальному наборі ознак [18], [37]–[38]. Відбір інформативних ознак об'єктів інтересу може бути проведений одним з наступних способів [18], [37]–[38], [90], [92].

1. Ідеалізована постановка. Виділити комбінацію ознак об'єктів інтересу Q^* з вихідного масиву даних об'єктів інтересу, при якій досягається мінімум заданого критерію оцінювання набору ознак (3.22):

$$J(Q^*) = \min_{X_e \in XS} (J(X_e)), \quad (3.22)$$

де XS – множина всіх можливих комбінацій ознак, що отримана з вихідного набору ознак Q ;

X_e – елемент множини XS ;

$J(X_e)$ – критерій оцінювання значущості набору ознак X_e .

2. Класична постановка: відібрати з множини вихідних Q ознак комбінацію, що складається не більше, ніж з Q_0 ознак ($Q_0 < Q$), при якій досягається оптимум заданого критерію (3.23):

$$J(Q^*) = \min_{X_e \in XS, |X_e| \leq Q_0} (J(X_e)), \quad (3.23)$$

де $|X_e|$ – кількість елементів у множині X_e .

3. Знайти набір ознак мінімального розміру, що забезпечує досягнення заданого значення критерію оцінювання значущості набору ознак (3.24):

$$|Q^*| = \min_{X_e \in XS, J(X_e) < \epsilon} (|X_e|), \quad (3.24)$$

де ε – задане значення критерію оцінювання набору ознак Q .

Результатом виконання процедури відбору ознак є оптимальний набір ознак Q^* , що має достатню інформативність (величина, що відбиває ступінь взаємозв'язку ознаки (набору ознак) із прогнозованим параметром [18], [37]–[38]). Інформативність комбінації ознак дорівнює сумі інформативності окремих ознак тільки при їхній незалежності [18], [37]–[38]. Отриманий в результаті відбору оптимальний набір ознак Q^* , маючи достатню інформативність, найбільш повно відбиває досліджуваний об'єкт інтересу. При цьому з вихідного набору ознак Q виключаються:

- незначущі ознаки – ознаки, що не впливають на вихідний параметр;
- надлишкові ознаки – ознаки, значення яких залежать від інших ознак.

При вирішенні завдань практичного дешифрування в першу чергу використовуються відтворювані ознаки – характерні риси і відмінні властивості об'єктів інтересу на ОЕЗ [18]. На значення відтворюваних ознак впливають масштабні, перспективні, фотометричні та інші перетворення, що відбуваються при отриманні і передачі зображення. Прямі ознаки безпосередньо належать зображенням об'єктів. Вони характеризуються геометричними і оптичними властивостями. Такими ознаками є елементарні властивості об'єктів: форма, розмір, структура, тон або колір, тінь зображення об'єктів [18], [37]–[38]. Однак прямі ознаки не однозначні, тобто та сама ознака, наприклад, прямокутна форма, відповідає різним об'єктам інтересу, а той самий об'єкт інтересу у різних ситуаціях може мати різний обрис [18], [37]–[38].

Непрямі ознаки – це кількісні ознаки й просторові, часові, функціональні і причинні залежності між об'єктами [18], [37]–[38]. Непрямі розпізнавальні ознаки – це ознаки, через які об'єкти та їх властивості вказують на наявність і властивості інших об'єктів, що не відображені на ОЕЗ. Непрямі ознаки базуються на закономірних

взаємозв'язках між природним ландшафтом і розташованими на ньому об'єктами інтересу, між складними і простими об'єктами, а також між елементами складних об'єктів [18], [37]–[38].

Комплексні ознаки – закономірні поєднання прямих і непрямих ознак. Комплексні ознаки – це ознаки складних об'єктів. На зображеннях, отриманих у різних діапазонах електромагнітного випромінювання, ознаки розпізнавання проявляються по-різному. Тільки знімки у видимому діапазоні спектра безпосередньо відображають об'єкти з усіма деталями, нагадуючи картину, що спостерігається візуально [18], [37]–[38].

На зображеннях з сучасних бортових оптико-електронних систем форма об'єктів передається поки ще з недостатньою для однозначного сприйняття детальністю [38]. Контури об'єктів виражаються більш узагальнено, без деталей. Внутрішня структура (вежі, кабіни тощо) зазвичай не виділяється або зображується плямами неправильної форми. Розмір об'єкту інтересу на ОЕЗ змінюється по полю залежно від кута поля зору чи кута візування. У межах кута 20° зміни розміру об'єкта і зображення в цілому незначні, важко виявляються при вимірах і на якість розпізнавання практично не впливають [18], [37]–[38]. Однак, при більших кутах зору розміри зображення суттєво змінюється (на краю зображення може складати усього від $1/2$ до $1/8$ і менше розміру такого ж об'єкта в центрі зображення), тому цей факт не враховувати неможна [18], [37]–[38].

Тон зображення об'єктів визначається наступними факторами [18], [37]–[38]: освітленістю місцевості, структурою поверхні і характером поширення відбитого світла, властивостями речовини поглинати і відбивати світлову енергію. Місцевість може бути освітлена прямим і розсіяним сонячним світлом. Розсіяне сонячне освітлення має місце при низькому стоянні Сонця і у разі перебування об'єкта в тіні від хмар. У цьому випадку на ОЕЗ тіні від об'єкта і його деталей відсутні, зображення має низьку контрастність. На зображенні деяка розмитість створюється за рахунок закриття одних деталей іншими і більшої яскравості випуклих

деталей. При прямому сонячному освітленні тон всіх об'єктів на зображенні визначається кутом падіння променів на його поверхню. Чим крутіше падають сонячні промені на поверхню, тим більше її освітленість, світліший тон зображення. Більш темною відобразиться ділянка, на яку промені падають під гострим кутом [18], [37]–[38].

Структура поверхні об'єкта також впливає на тон зображення, тому що визначає характер поширення в просторі сонячного світла. Характер зображення залежить від висоти нерівностей, довжини хвилі, кута опромінення поверхні та їх співвідношень.

Досвід дешифрування ОЕЗ показує, що при проведенні дешифрування на етапі виявлення та розпізнавання до підкласу й типу доволі часто необхідно звертатися до довідкової інформації. При цьому склад довідкової інформації (для простих об'єктів) визначається рівнем розпізнавання [18], [37]–[38]:

- для розпізнавання до виду: місцеположення, граничні розміри і співвідношення сторін, характерні узагальнені деталі (конструкції), характерні розподіли яскравості внаслідок конструктивних особливостей;
- до класу: характерні деталі конструкції, взаємне розташування деталей, межі габаритних розмірів;
- до підкласу: межі габаритних розмірів, форма (загальна і деталей), розміри деталей;
- до типу: індивідуальні особливості форми, розмірів, кількості і взаємного розташування деталей.

Апріорна інформація є складовою довідкової і має включати прямі, непрямі та комплексні ознаки. Апріорна інформація подається в наступній формі [18], [37]–[38]:

- у вигляді примітивів: еталонних зображень, дешифрувальних ключів або карток-еталонів, характерних деталей об'єктів визначеного типу;
- як описи простих об'єктів: зображення типового об'єкту,

характерні ознаки та їх опис, тактико-технічні характеристики, особливості застосування та функціонування об'єктів. Описи простих об'єктів можуть представлятися як в друкованому, так і в електронному вигляді. У будь-якому випадку дешифрувальнику потрібно витратити певний час на пошук та аналіз додаткової інформації, що, в свою чергу, знижує оперативність дешифрування ОЕЗ.

Очевидно, що при дешифруванні оператор повинен мати можливість, крім основної, характерної інформації, в інтерактивному режимі мати доступ до додаткової інформації. При цьому додаткова інформація має відповідати рівню дешифрування, на якому проводиться обробка зображення.

Використанню основних дешифрувальних ознак об'єктів інтересу при тематичному сегментуванні в роботі значна увага не приділяється. Вирішенню такого завдання присвячено велика кількість відомих робіт, наприклад, [18], [35], [80]–[81], [242].

Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що зображення з бортових систем ОЕС є складними (складноструктурованими) та мають наступні особливості:

- наявність великої кількості різнорідних об'єктів;
- об'єкти на зображенні відносяться до різних структурно-просторових елементів;
- кожному виду об'єкта притаманні власні значимі характеристики, що необхідно враховувати;
- об'єкти є морфологічно складними структурами;
- об'єкти є компактними та малоконтрастними у порівнянні з фоном.

2. Встановлено, що на зображеннях з бортових систем ОЕС

виділяються наступні типи структурно-просторових елементів, що відрізняються за статистичними і просторовими характеристиками:

- граничні та лінійні об'єкти;
- точкові об'єкти;
- протяжні (площинні) об'єкти;
- малорозмірні об'єкти.

3. Встановлено, що характерними особливостями вирішення завдання тематичного сегментування ОЕЗ є:

- великий об'єм даних спостереження;
- обмежений обсяг або взагалі відсутність апріорної інформації про кількість та ймовірнісні характеристики об'єктів інтересу;
- розміри об'єктів інтересу значно менше розміру фону;
- наявність факторів, що спотворюють ОЕЗ;
- неоднорідність значення яскравості в межах відповідних структурно-просторових елементів.

4. Встановлено наступні основні вимоги до методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС:

- можливість паралельної обробки великих масивів зображень;
- можливість виділення сегментів різного розміру та форми в умовах мінімальної апріорної інформації;
- забезпечення вимог щодо якості сегментування;
- можливість виділення наперед невідомої кількості сегментів;
- робота в умовах впливу факторів, що спотворюють ОЕЗ;
- простота налаштування параметрів методу.

5. Наведено математичне формулювання завдання тематичного сегментування ОЕЗ. У якості ознаки використовується яскравість у деякому кольоровому просторі пікселів та її ознаки – області однорідності та перепадів (градієнт). Результатом тематичного сегментування ОЕЗ є розділення зображення на об'єкти інтересу та фон.

6. 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.

7. Проведено тематичне сегментування тонових та кольорових зображень з бортових систем ОЕС удосконаленим методом тематичного сегментування зображень на основі мурашиного алгоритму. Візуальна оцінка якості сегментування дозволяє визначити об'єкти інтересу.

8. Удосконалено метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів. Особливостями методу тематичного сегментування є те, що тільки найкращі агенти підвищують рівень феромону на своїх маршрутах, а також те, що рівень феромону на маршрутах обмежений.

9. Проведено тематичне сегментування ОЕЗ з бортових систем ОЕС методом тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів. Візуальна якість сегментованих зображень дозволяє стверджувати про візуальне зменшення "сміттєвих" об'єктів на сегментованих зображеннях. Недоліком методу тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів є можливість знаходження не глобального, а локальних мінімумів цільової функції, що може вплинути на якість сегментування.

10. Проаналізовані основні дешифрувальні ознаки об'єктів інтересу на ОЕЗ. Визначено склад довідкової інформації, що визначається рівнем розпізнавання до виду, класу, підкласу, типу.

Список використаних джерел у розділі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [18], [35], [37]–[38], [48]–[52], [80]–[81], [90], [92], [94]–[98], [105]–[107], [202]–[204], [214]–[215], [235], [242].

РОЗДІЛ 4

МЕТОД БАГАТОМАСШТАБНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У даному розділі для підвищення якості дешифрування зображення з бортових систем ОЕС запропоновано використовувати багатомасштабну обробку ОЕЗ. Проаналізовано відомі підходи до аналізу багатомасштабної інформації. Отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС. Наведені результати багатомасштабної обробки тонових та кольорових зображень з бортових систем ОЕС. Матеріали розділу викладені в роботах [91]–[92], [94]–[96], [101]–[102], [108]–[109].

4.1 Підходи до аналізу багатомасштабної інформації у вигляді оптико-електронних зображень різного масштабу

Існує декілька підходів до аналізу багатомасштабної інформації, тобто до побудови картини контурів об'єктів градієнтних зображень різного масштабу, детальний аналіз яких проведено в [91], [94], [243]–[244]. Методи розрізняються по принципах побудови градієнтного зображення одного масштабу, але при цьому відкритим є питання, яким чином необхідно комбінувати багатомасштабну інформацію для побудови кінцевої картини границь. В [243]–[244] проаналізовано метод, який полягає у послідовному аналізі багатомасштабної інформації від грубих масштабів до точних. Такий підхід дозволяє значно зменшити вплив шуму і, таким чином, уникнути хибного визначення контурів під впливом шумів.

Недоліком методу є можливе розділення контурів, що визначаються на грубих масштабах, на декілька окремих при переході до більш точного масштабу [243]–[244]. Стратегія розгляду градієнтних масштабів від грубих до точних має недолік у випадку, коли на зображенні присутні невеликі об'єкти з різкими границями. Точне визначення границь цих об'єктів при переході від грубих масштабів до точних є ускладненим, так як на градієнтних зображеннях грубого масштабу виникає значне зміщення положення різких контурів [243]–[244].

При аналізі градієнтних зображень від точних масштабів до грубих основними задачами є зменшення впливу шуму, до якого чутливі оператори градієнту малого розміру, та комбінування границь, що отримані на точних масштабах, з плавними границями, які визначаються на грубих масштабах. При успішному рішенні таких проблем підхід до аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих є найбільш ефективним для багатьох практичних випадків, в яких необхідно достатньо точно визначити контури об'єктів [243]–[244]. Однак, відомі методи, що проаналізовано в [243]–[244], можуть бути застосовані для сегментування сканованих зображень сторінок книг, газет, журналів з великою кількістю об'єктів невеликого розміру, наприклад, букв та символів або в промислових системах контролю якості. Такі методи багатомасштабної обробки цифрових зображень неможна напряму використовувати для багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС.

4.2 Сутність багатомасштабного перетворення оптико-електронних зображень різного масштабу

Сутність багатомасштабного перетворення ОЕЗ проілюстровано на рис. 4.1.

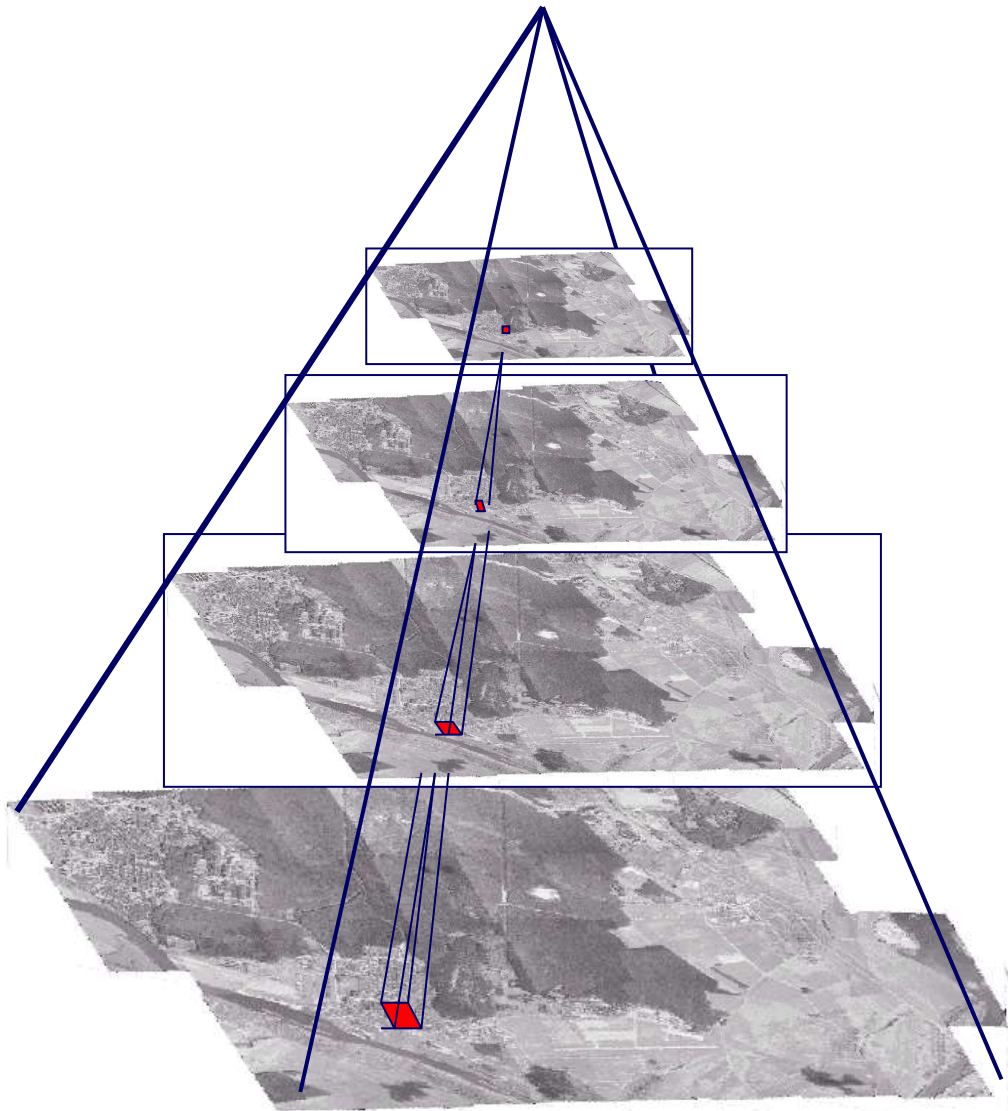


Рисунок 4.1 – Сутність багатомасштабного перетворення ОЕЗ

Багатомасштабне перетворення вихідного зображення $f(x, y)$, де (x, y) – просторові координати зображення, будемо представляти у вигляді (4.1) [91], [101]–[102], [108]–[109]:

$$L(x, y, K_m) = g(x, y, K_m) * f(x, y), \quad (4.1)$$

де $L(x, y, K_m)$ – багатомасштабне перетворення вихідного зображення $f(x, y)$;

$g(x, y, K_m)$ – ядро перетворення;

K_m – масштабний коефіцієнт;

* – оператор згортки.

Ядро перетворення $g(x, y, K_m)$ обрано у вигляді гаусіана (4.2)

(рис. 4.2):

$$g(x, y, K_m) = \frac{1}{2\pi\sqrt{K_m}} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2K_m}}. \quad (4.2)$$

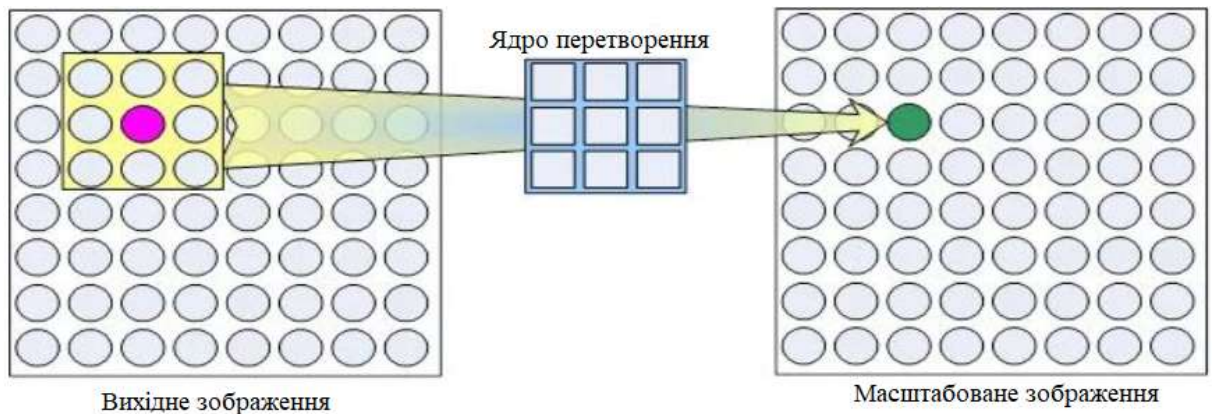


Рисунок 4.2 – Принцип отримання масштабованого зображення

Необхідно зауважити, що у виразі (4.1) згортка виконується по просторових координатах (x, y) , а масштабний коефіцієнт K_m лише указує, для якого масштабу проводиться операція згортки.

Вибір саме такого ядра перетворення обумовлений унікальністю гаусова ядра, яке включає лінійність, інваріантність до здвигу, до масштабних спотворень, до повороту зображення та не підсилення локальних екстремумів на вихідному зображенні [243]–[244].

Масштабний коефіцієнт K_m відіграє роль дисперсії у виразі (4.2) для гаусіана. При $K_m=0$ ядро перетворення $g(x, y, 0)$ становиться імпульсною функцією, такою, що $L(x, y, 0) = f(x, y)$, тобто масштабне перетворення вихідного зображення є саме вихідне зображення $f(x, y)$. При збільшенні масштабного коефіцієнта K_m , $L(x, y, K_m)$ є результат згладжування вихідного зображення $f(x, y)$.

Підвищення якості багатомасштабної обробки ОЕЗ засновано на тому, що штучні об'єкти (об'єкти інтересу) будуть знаходитися на зображеннях з різним значенням масштабу K_m . При цьому дешифрувальні ознаки штучних об'єктів можуть проявлятися в той чи іншій мірі на зображеннях декількох масштабах. До того ж, деякі дешифрувальні ознаки штучних об'єктів можуть змінитися настільки, що в змозі розглядатися як інша (додаткова) дешифрувальна ознака. З метою використання такої інформації і підвищення якості обробки зображень у дисертаційній роботі отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС [91], [101]–[102], [108]–[109].

4.3 Сутність методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

Схема методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС в загальному вигляді наведена на рис. 4.3. Сутність методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС полягає у наступному [91], [101]–[102], [108]–[109].

1. Ввід вихідних даних, а саме (рис. 4.3):

- $\mathbf{f}_{K_m}(\mathbf{X})$ – ОЕЗ масштабу K_m ;
- $\mathbf{X}(x, y)$ – вектор положень агентів на ОЕЗ зображенні масштабу K_m ;
- M_{K_m} – кількість агентів на ОЕЗ масштабу K_m ;
- α_{K_m} – вага феромону на ОЕЗ масштабу K_m ;
- β_{K_m} – "жадібність" методу на ОЕЗ масштабу K_m ;
- ρ_{K_m} – швидкість випаровування феромону на ОЕЗ масштабу K_m ;
- F_{0K_m} – початкова кількість феромону на ОЕЗ масштабу K_m .

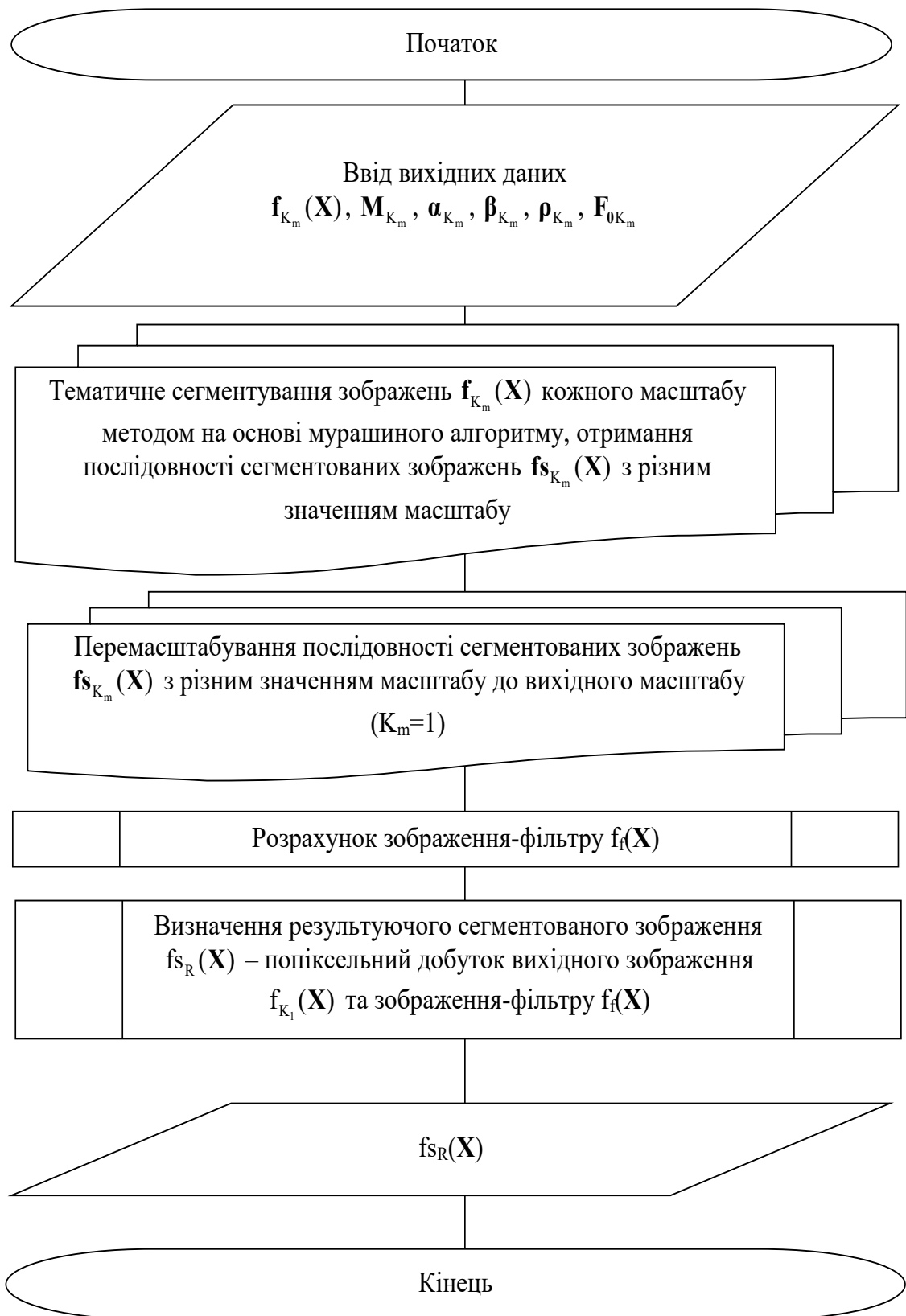


Рисунок 4.3 – Загальна схема методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС

2. Тематичне сегментування зображень $f_{K_m}(\mathbf{X})$ кожного масштабу методом на основі мурашиного алгоритму, отримання послідовності сегментованих зображень $fs_{K_m}(\mathbf{X})$ з різним значенням масштабу.

3. Перемасштабування послідовності сегментованих зображень $fs_{K_m}(\mathbf{X})$ з різним значенням масштабу до вихідного масштабу ($K_m=1$).

4. Розрахунок зображення-фільтру $f_f(\mathbf{X})$. При цьому яскравість кожного пікселя зображення-фільтру визначається мірою інформативності зображень з різним значенням масштабу та розраховується як усереднення яскравості відповідних пікселів зображень кожного масштабу (вираз (4.3)):

$$f_f(\mathbf{X}) = \frac{\sum_{m=1}^N fs_{K_m}(\mathbf{X})}{N}, \quad (4.3)$$

де N – кількість масштабованих зображень.

5. Визначення результуючого сегментованого зображення $fs_R(\mathbf{X})$ як попіксельного добутку вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $f_f(\mathbf{X})$ (вираз 4.4):

$$fs_R(\mathbf{X}) = f_{K_1}(\mathbf{X}) \& f_f(\mathbf{X}), \quad (4.4)$$

де $\&$ – логічна операція "кон'юнкція" ("логічне множення").

Табл. 4.1 представляє таблицю істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого сегментованого зображення $fs_R(\mathbf{X})$.

Таким чином, на результуючому сегментованому зображенні $fs_R(\mathbf{X})$ пікселі штучних об'єктів (об'єктів інтересу) будуть знаходитися лише в тому випадку, якщо вони присутні на всіх зображеннях з різним значенням масштабу.

6. Вивід результуючого сегментованого зображення $fs_R(\mathbf{X})$.

Таблиця 4.1 – Таблиця істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого сегментованого зображення $f_{s_R}(X)$

$f_{k_1}(X)$	$f_f(X)$	$f_{s_R}(X)$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

Таким чином, в роботі отримав подальший розвиток метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС (рис. 4.3), 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.

4.4 Багатомасштабна обробка тонових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості вихідних будемо розглядати тонові ОЕЗ з бортової системи ОЕС КА WorldView-1 (рис. 3.6а) з різними значеннями масштабів $K_m=1, 2, 3, \dots, 31, 32$. Багатомасштабну обробку тонових ОЕЗ будемо проводити методом багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму (рис. 4.3). Параметри методу наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри методу багатомасштабної обробки тонових ОЕЗ на основі мурашиного алгоритму

Найменування параметру	M_{K_m} , шт.	α_{K_m}	β_{K_m}	ρ_{K_m}	F_{0K_m}
Значення параметру	кількість пікселів на зображенні відповідного масштабу	2	1	10^{-3}	10^{-2}

Сегментовані тонові зображення з різними значеннями масштабів і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ наведені на рис. 4.4. Умовою зупинки методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму ОЕЗ кожного масштабу прийнята гранична кількість ітерацій, що дорівнює 50.

Зображення-фільтр $f_f(\mathbf{X})$ розраховано за виразом (4.3) та наведено на рис. 4.5. Яскравість кожного пікселя зображення-фільтру визначається мірою інформативності зображень з різним значенням масштабу та розраховується як усереднення яскравості відповідних пікселів зображень з різним значенням масштабу. Результуюче сегментоване зображення $f_{s_R}(\mathbf{X})$ визначається за виразом (4.4) як попіксельний добуток вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $f_f(\mathbf{X})$ та наведено на рис. 4.6. Розрахунки проводилися з використанням мови програмування високого рівня та інтерактивного середовища для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів MATLAB R2017b. З порівняння рис. 3.7а та рис. 4.6 встановлено, що використання багатомасштабної обробки підвищує візуальну якість тематичного сегментування [91]–[92], [94]–[96], [101]–[102], [108]–[109].

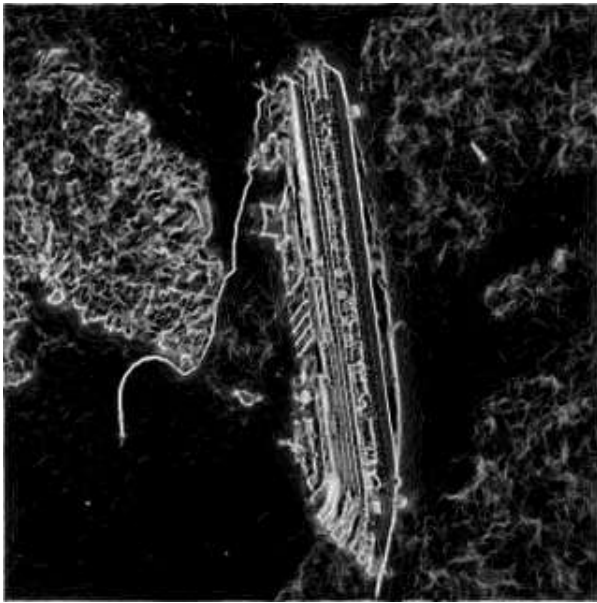
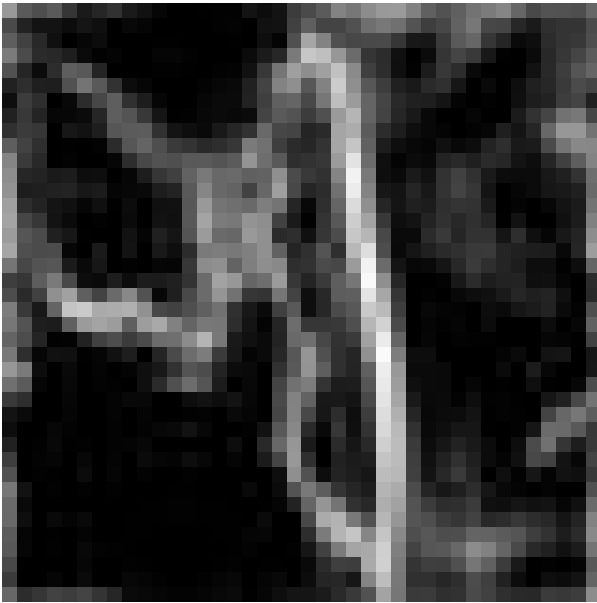
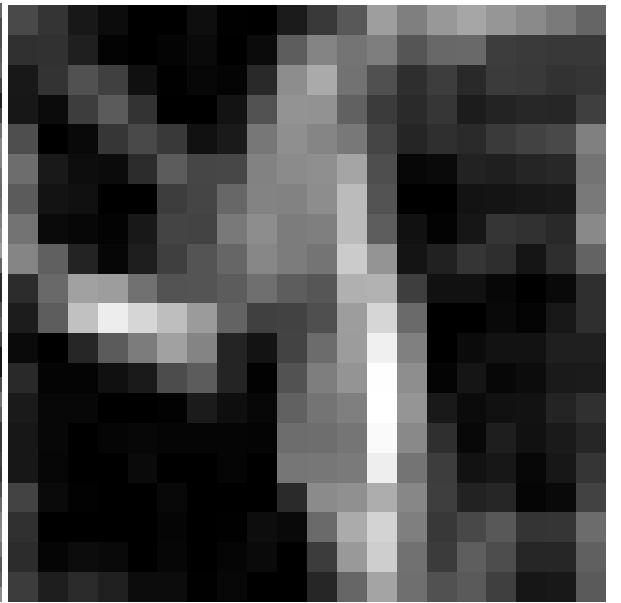
 $K_m=2$  $K_m=8$  $K_m=16$  $K_m=32$

Рисунок 4.4 – Сегментовані тонові зображення з різними значеннями масштабів і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$

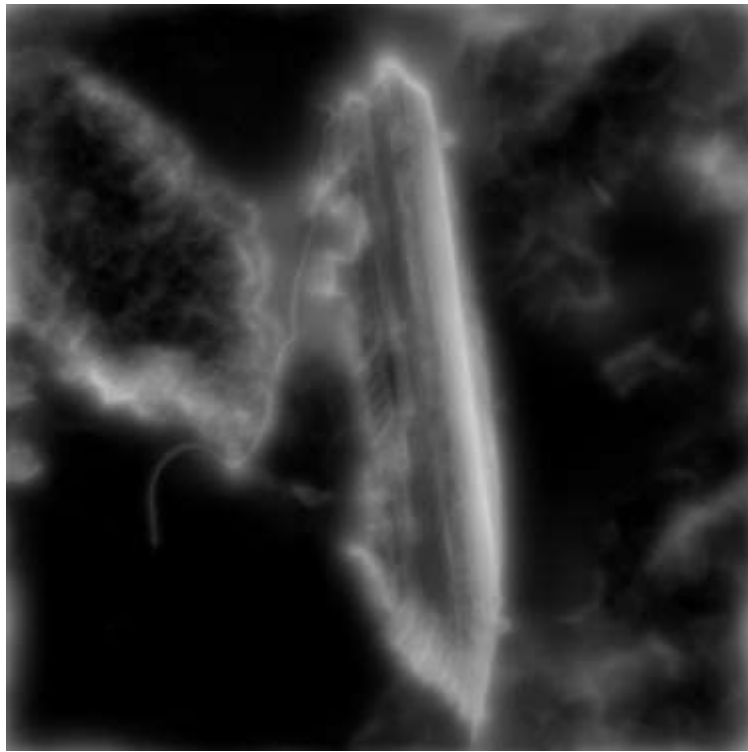


Рисунок 4.5 – Зображення-фільтр $f_f(\mathbf{X})$



Рисунок 4.6 – Результуюче сегментоване зображення $fs_R(\mathbf{X})$

Розглянемо інше вихідне зображення (рис. 3.6б) – зображення міста Сан-Франциско з КА WorldView-1. Сегментовані тонові зображення з різними значеннями масштабу і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ наведені на рис. 4.7.

Зображення-фільтр $f_f(\mathbf{X})$ наведено на рис. 4.8. Результируюче сегментоване зображення $fs_R(\mathbf{X})$ наведено на рис. 4.9. З порівняння рис. 3.7б та рис. 4.9 встановлено, що використання багатомасштабної обробки підвищує візуальну якість тематичного сегментування.

4.5 Багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості вихідних будемо розглядати кольорові ОЕЗ з КА Ikonos з різними значеннями масштабів $K_m=1, 2, 4, 8$. Усі зображення представлені в кольоровому просторі RGB та наведені на рис. 4.10. Метод багатомасштабної обробки кольорових ОЕЗ на основі мурашиного алгоритму передбачає (рис. 4.11) [91], [101]–[102], [108]–[109]:

1. Ввід вихідних даних, а саме:

– $f_{K_m}(\mathbf{X})$ – кольорове ОЕЗ масштабу K_m ;

– $\mathbf{X}(x,y)$ – вектор положень агентів на кольоровому ОЕЗ;

– $\mathbf{M}_{K_m}^{col} = \begin{pmatrix} M_{K_m}^R \\ M_{K_m}^G \\ M_{K_m}^B \end{pmatrix}$ – вектор, що визначає кількість агентів в кожному

кольоровому каналі на ОЕЗ масштабу K_m ;

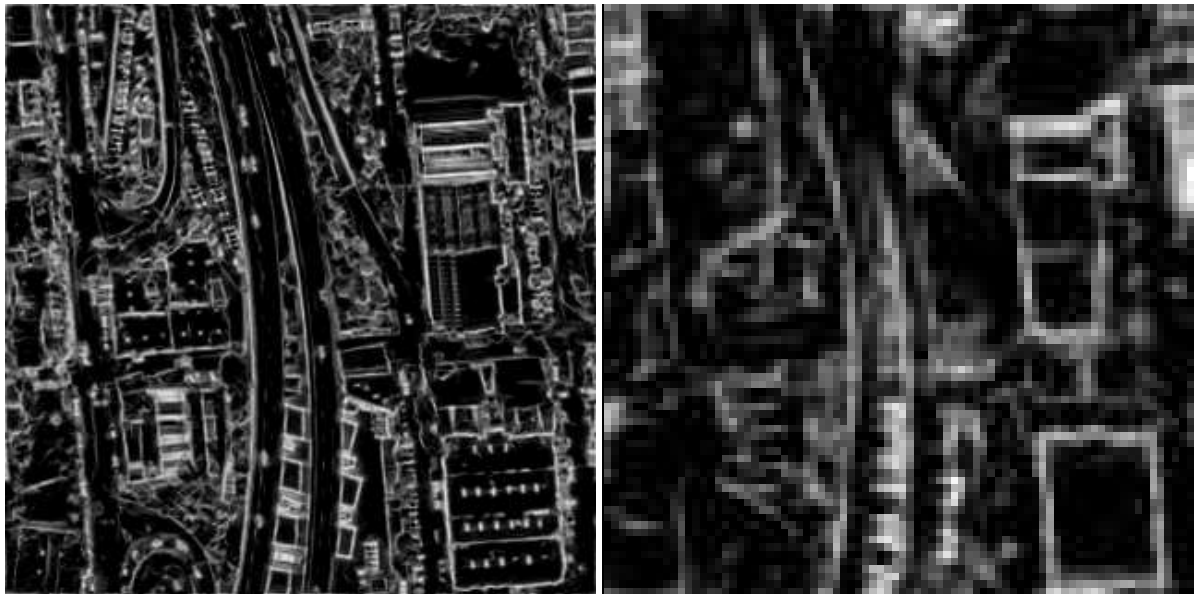
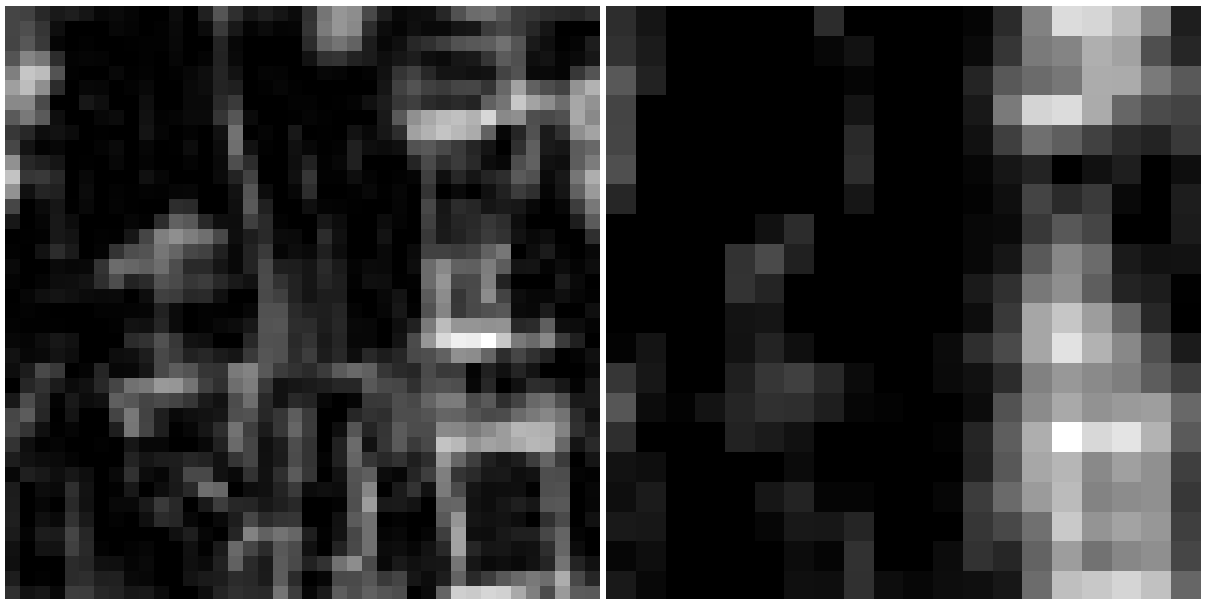
 $K_m=2$ $K_m=8$  $K_m=16$ $K_m=32$

Рисунок 4.7 – Сегментовані тонові зображення з різними значеннями масштабу і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$

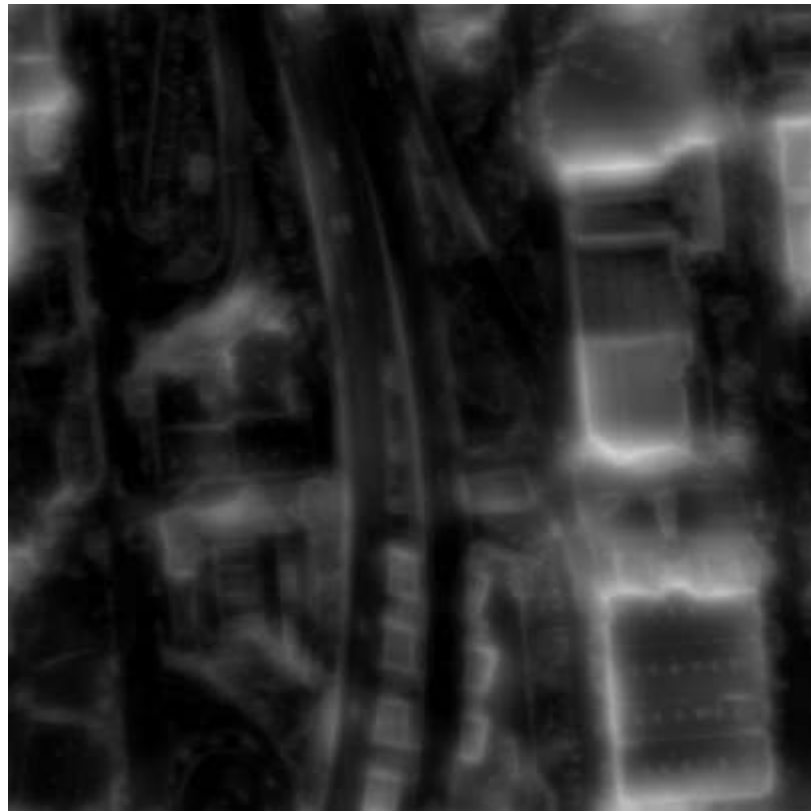


Рисунок 4.8 – Зображення-фільтр $f_f(X)$

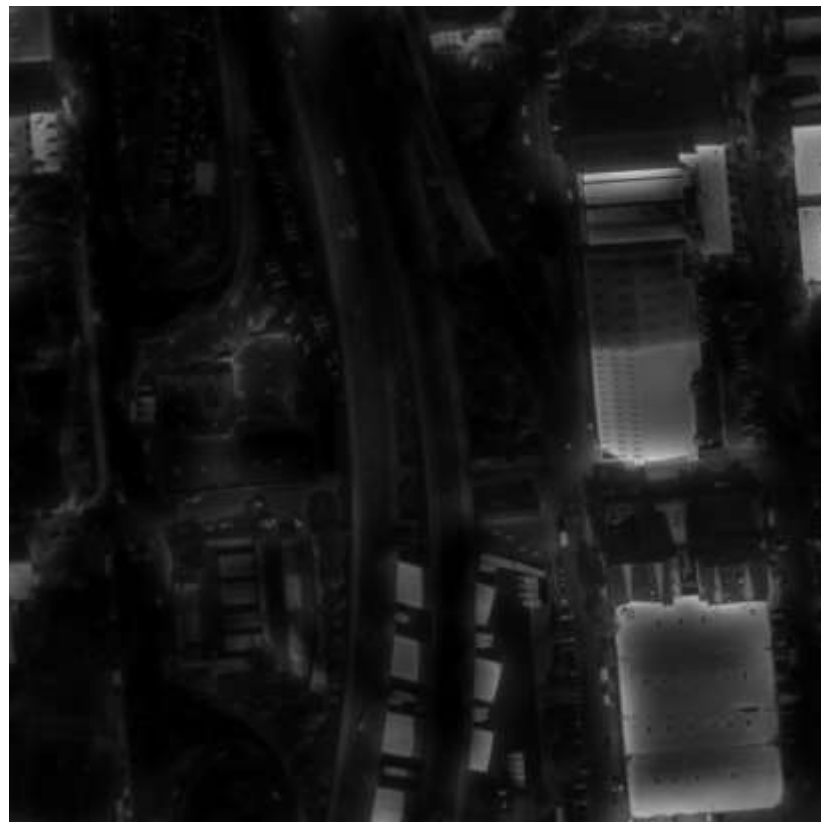


Рисунок 4.9 – Результуюче сегментоване зображення $fs_r(X)$

 $K_m=8$  $K_m=4$ $K_m=2$  $K_m=1$ 

Рисунок 4.10 – Багатомасштабна послідовність кольорових ОЕЗ



Рисунок 4.11 – Схема методу багатомасштабної обробки кольорових ОЕЗ,
 аркуш 1

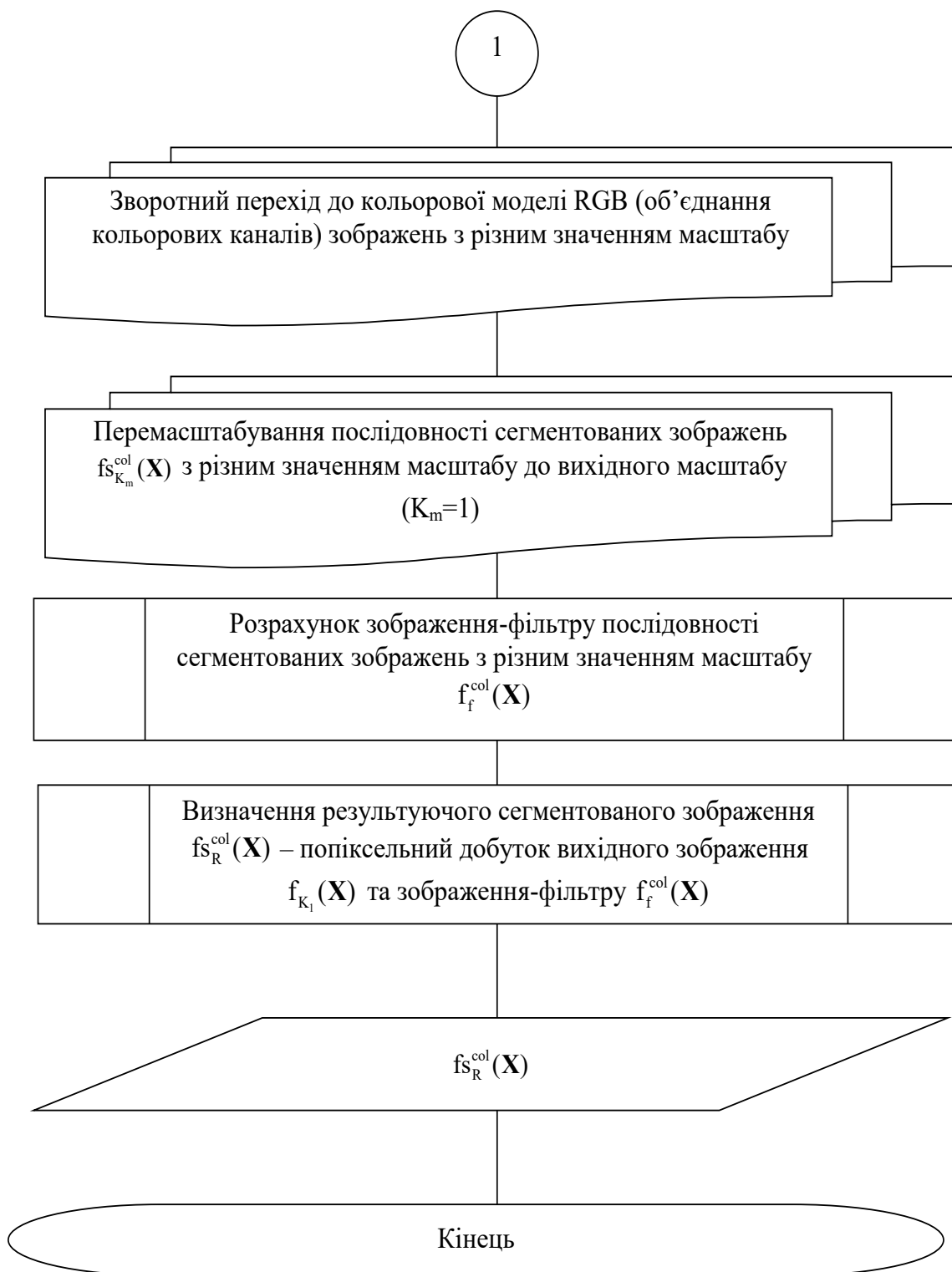


Рисунок 4.11, аркуш 2

– $\boldsymbol{\alpha}_{K_m}^{\text{col}} = \begin{pmatrix} \alpha_{K_m}^R \\ \alpha_{K_m}^G \\ \alpha_{K_m}^B \end{pmatrix}$ – вектор, що визначає вагу феромону в кожному

кольоровому каналі на ОЕЗ масштабу K_m ;

– $\boldsymbol{\beta}_{K_m}^{\text{col}} = \begin{pmatrix} \beta_{K_m}^R \\ \beta_{K_m}^G \\ \beta_{K_m}^B \end{pmatrix}$ – вектор, що визначає "жадібність" методу в кожному

кольоровому каналі на ОЕЗ масштабу K_m ;

– $\boldsymbol{\rho}_{K_m}^{\text{col}} = \begin{pmatrix} \rho_{K_m}^R \\ \rho_{K_m}^G \\ \rho_{K_m}^B \end{pmatrix}$ – вектор, що визначає швидкість випаровування

феромону в кожному кольоровому каналі на ОЕЗ масштабу K_m ;

– $\mathbf{F}_{0K_m}^{\text{col}} = \begin{pmatrix} F_{0K_m}^R \\ F_{0K_m}^G \\ F_{0K_m}^B \end{pmatrix}$ – вектор, що визначає початкову кількість феромону

в кожному кольоровому каналі на ОЕЗ масштабу K_m .

2. Виділення кольорових каналів на зображеннях з різним значенням масштабу $\mathbf{f}_{K_m}(\mathbf{X})$: $f_{K_m}^R(\mathbf{X})$, $f_{K_m}^G(\mathbf{X})$, $f_{K_m}^B(\mathbf{X})$ (де $f_{K_m}^R(\mathbf{X})$, $f_{K_m}^G(\mathbf{X})$, $f_{K_m}^B(\mathbf{X})$ – кольорові канали Red, Green, Blue, відповідно на зображеннях з різним значенням масштабу).

3. Виділення каналів яскравості в кожному кольоровому каналі на зображеннях з різним значенням масштабу $\mathbf{f}_{K_m}(\mathbf{X})$.

4. Тематичне сегментування зображень кожного кольорового каналу з різним масштабом мурашиним алгоритмом, отримання послідовності сегментованих зображень в кожному кольоровому каналі

$\mathbf{fs}_{K_m}^{\text{col}}(\mathbf{X}) = \begin{pmatrix} fs_{K_m}^R(\mathbf{X}) \\ fs_{K_m}^G(\mathbf{X}) \\ fs_{K_m}^B(\mathbf{X}) \end{pmatrix}$ з різним значенням масштабу (де $fs_{K_m}^R(\mathbf{X})$, $fs_{K_m}^G(\mathbf{X})$,

$fs_{K_m}^B(\mathbf{X})$ – сегментовані зображення з різним значенням масштабу кольорових каналів Red, Green, Blue, відповідно).

5. Зворотний перехід до кольорової моделі RGB (об'єднання кольорових каналів) зображень з різним значенням масштабу.

6. Перемасштабування послідовності сегментованих зображень $fs_{K_m}^{col}(\mathbf{X})$ різного масштабу до вихідного масштабу ($K_m=1$).

7. Розрахунок зображення-фільтру зображень з різним значенням масштабу $f_f^{col}(\mathbf{X})$. При цьому яскравість кожного пікселя зображення-фільтру визначається мірою інформативності зображень з різним значенням масштабу та розраховується як усереднення яскравості відповідних пікселів зображень з різним значенням масштабу (вираз (4.5)):

$$f_f^{col}(\mathbf{X}) = \frac{\sum_{m=1}^N fs_{K_m}^{col}(\mathbf{X})}{N}, \quad (4.5)$$

де N – кількість зображень з різним значенням масштабу.

8. Визначення результуючого сегментованого зображення $fs_R^{col}(\mathbf{X})$ – попіксельний добуток вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $f_f^{col}(\mathbf{X})$ (вираз 4.6):

$$fs_R^{col}(\mathbf{X}) = f_{K_1}(\mathbf{X}) \& f_f^{col}(\mathbf{X}), \quad (4.6)$$

де $\&$ – логічна операція "кон'юнкція" ("логічне множення").

Таблиця істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого сегментованого зображення $fs_R^{col}(\mathbf{X})$ представлена у табл. 4.1.

9. Вивід результуючого сегментованого зображення $fs_R^{col}(\mathbf{X})$.

Параметри методу на основі мурашиного алгоритму тематичного

сегментування вважаються однаковими для кожного каналу яскравості ОЕЗ з різним значенням масштабу та наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри методу багатомасштабної обробки кольорових ОЕЗ на основі мурашиного алгоритму

Найменування параметру	$M_{K_m}^{col}$, шт.	$\alpha_{K_m}^{col}$	$\beta_{K_m}^{col}$	$\rho_{K_m}^{col}$	$F_{0K_m}^{col}$
Значення параметру	кількість пікселів на зображенні відповідного масштабу	2	1	10^{-3}	10^{-2}

Умовою зупинки методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму для ОЕЗ з різним значенням масштабу прийнята гранична кількість ітерацій, що дорівнює 50. Сегментовані зображення з різним значенням масштабу наведені на рис. 4.12. На рис. 4.13 наведені сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ.

Проведемо розрахунок зображення-фільтру $f_f^{col}(\mathbf{X})$ відповідно до виразу (4.5). Зображення-фільтр $f_f^{col}(\mathbf{X})$ наведено на рис. 4.14. Яскравість кожного пікселя зображення-фільтру визначається мірою інформативності зображень з різним значенням масштабу та розраховується як усереднення яскравості відповідних пікселів зображень з різним значенням масштабу.

Результуюче сегментоване зображення $fs_R^{col}(\mathbf{X})$ визначається за виразом (4.6) як попіксельний добуток вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $f_f^{col}(\mathbf{X})$ та наведено на рис. 4.15. Розрахунки проводилися з використанням мови програмування високого рівня та інтерактивного середовища для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів MATLAB R2017b. З порівняння рис. 3.13 та рис. 4.15 встановлено, що використання багатомасштабної обробки підвищує візуальну якість тематичного сегментування.

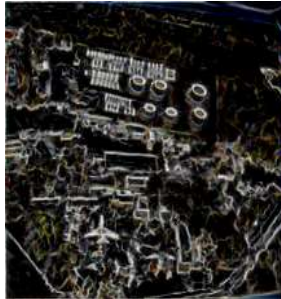
 $K_m=8$  $K_m=4$ $K_m=2$  $K_m=1$ 

Рисунок 4.12 – Сегментовані зображення з різним значенням масштабу

 $K_m=1$  $K_m=2$  $K_m=4$  $K_m=8$

Рисунок 4.13 – Сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ з різним значенням масштабу



Рисунок 4.14 – Зображення-фільтр $f_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$



Рисунок 4.15 – Результуюче сегментоване зображення $f_{s_R}^{\text{col}}(\mathbf{X})$

На рис. 4.15 більш якісніше виділені елементи літаків, додатково виявлено ємності з нафтою, більш якісніше виявлено елементи аеродромної інфраструктури (ангари, спеціальні будови тощо). До того ж, якщо на рис. 3.13 виділені лише контури об'єктів інтересу та наявні "сміттєві" об'єкти, то на рис. 4.15 виділені вже повністю об'єкти інтересу та значно зменшилася кількість "сміттєвих" об'єктів [91], [101]–[102], [109].

4.6 Багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження з застосуванням методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів

У якості вихідних будемо розглядати кольорові ОЕЗ з КА Ikonos з різними значеннями масштабів $K_m=1, 2, 4, 8$. Всі зображення представлені в кольоровому просторі RGB та наведені на рис. 4.10.

Багатомасштабну обробку зображень з різним значенням масштабу (рис. 4.10) будемо проводити з застосуванням методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму (рис. 4.5) з використанням елітних агентів. Параметри методу на основі мурашиного алгоритму тематичного сегментування вважаються однаковими для кожного каналу яскравості ОЕЗ з різним значенням масштабу та наведені в табл. 4.3. Умовою зупинки методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму для ОЕЗ з різним значенням масштабу прийнята гранична кількість ітерацій, що дорівнює 50.

Розрахунки проводилися для різної кількості елітних агентів, а саме – 1%, 5%, 10%. На рис. 4.16–4.18 наведені сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ з різним значенням

масштабу, для яких кількість елітних агентів дорівнює 1% (рис. 4.16), 5% (рис. 4.17), 10% (рис. 4.18).

Зображення-фільтри $f_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$ для різної кількості елітних агентів наведені на рис. 4.19–4.21 (1% елітних агентів, 5% елітних агентів, 10% елітних агентів, відповідно).

Результуючі сегментовані зображення $fs_R^{\text{col}}(\mathbf{X})$ визначаються за виразом (4.6) як попіксельний добуток вихідного зображення $f_{K_1}(\mathbf{X})$ та зображення-фільтру $fs_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$ та наведені на рис. 4.22–4.24 для різної кількості елітних агентів (1% елітних агентів, 5% елітних агентів, 10% елітних агентів, відповідно).

Розрахунки проводилися з використанням мови програмування високого рівня та інтерактивного середовища для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів MATLAB R2017b.

Візуальне порівняння рис. 4.15 з рис. 4.22–4.24 свідчить про те, що застосування елітних агентів зменшує кількість "сміттєвих" об'єктів. При цьому зменшення "сміттєвих" об'єктів досягається як за рахунок застосування багатомасштабної обробки, так і за рахунок застосування елітних агентів.

Збільшення відсотку елітних агентів також приводить до зменшення кількості "сміттєвих" об'єктів, але беручи до уваги те, що мурашині алгоритми є ітераційними, збільшення кількості елітних агентів може привести в деяких випадках до знаходження локальних мінімумів цільової функції, що може вже негативно впливати на якість тематичного сегментування зображення [91]–[92], [94]–[96], [101]–[102], [108]–[109].

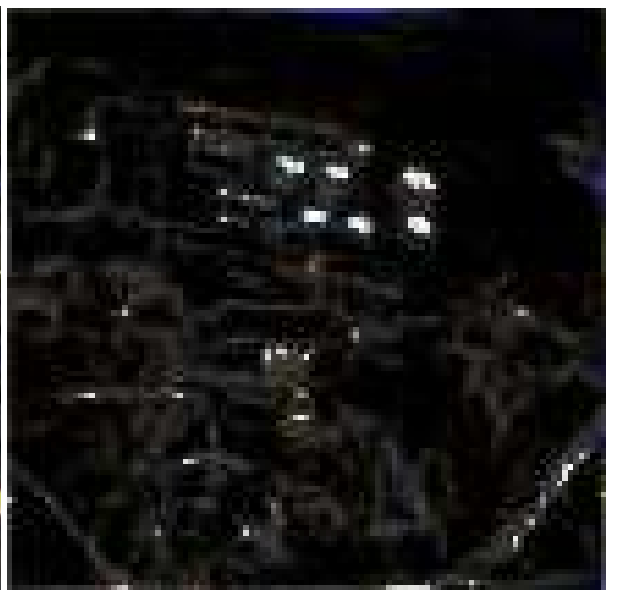
 $K_m=1$  $K_m=2$  $K_m=4$  $K_m=8$

Рисунок 4.16 – Сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ з різним значенням масштабу (1% елітних агентів)

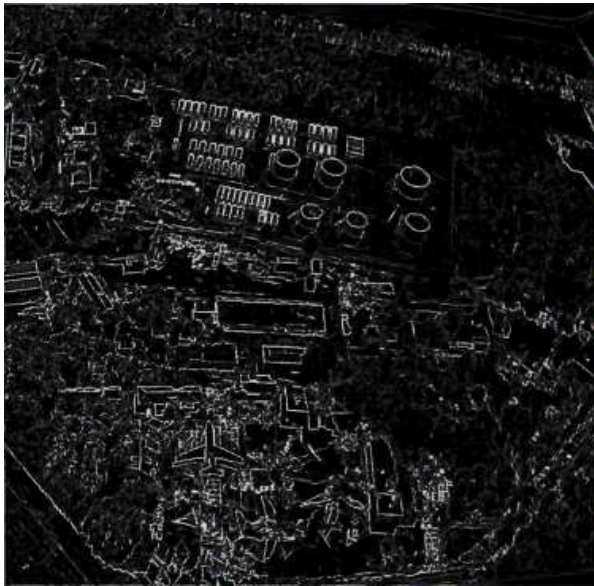
 $K_m=1$  $K_m=2$  $K_m=4$  $K_m=8$

Рисунок 4.17 – Сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ з різним значенням масштабу (5% елітних агентів)

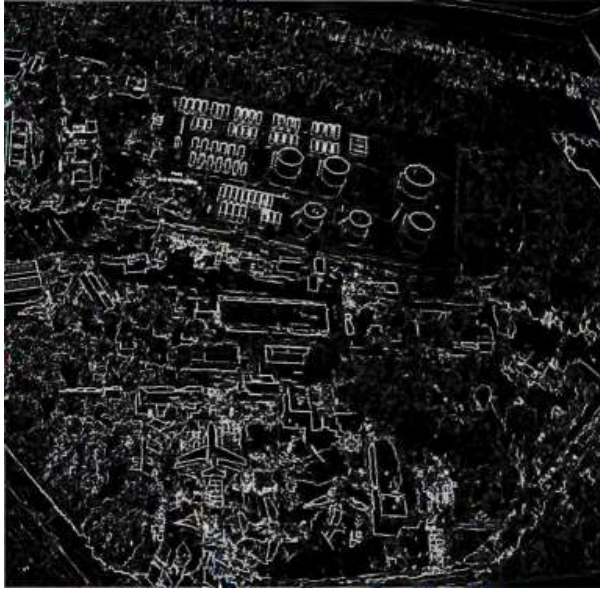
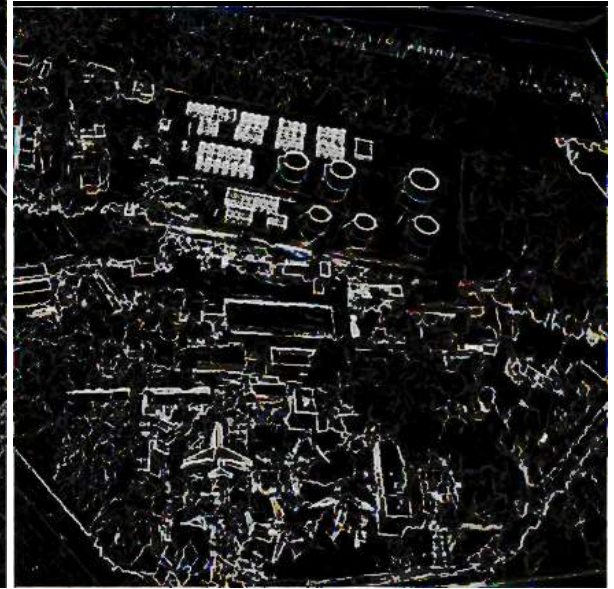
 $K_m=1$  $K_m=2$  $K_m=4$  $K_m=8$

Рисунок 4.18 – Сегментовані і перемасштабовані до масштабу $K_m=1$ кольорові ОЕЗ з різним значенням масштабу (10% елітних агентів)



Рисунок 4.19 – Зображення-фільтр $f_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$ (1% елітних агентів)

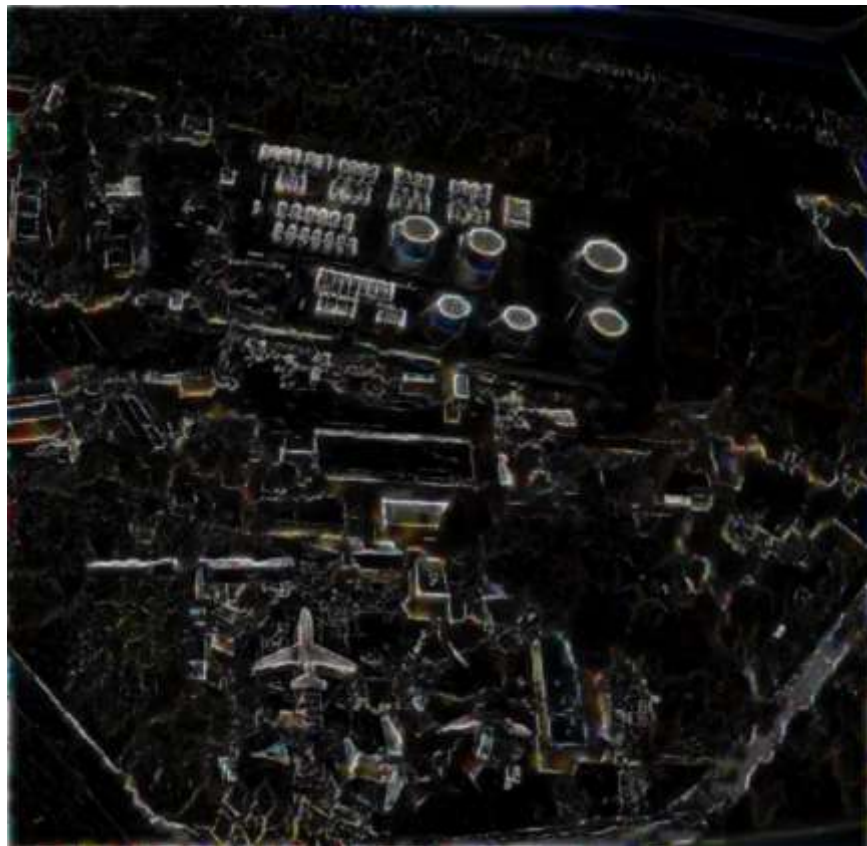


Рисунок 4.20 – Зображення-фільтр $f_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$ (5% елітних агентів)



Рисунок 4.21 – Зображення-фільтр $f_f^{\text{col}}(\mathbf{X})$ (10% елітних агентів)



Рисунок 4.22 – Результуюче сегментоване зображення $f_{S_R}^{\text{col}}(\mathbf{X})$
(1% елітних агентів)



Рисунок 4.23 – Результуюче сегментоване зображення $fs_R^{col}(X)$
(5% елітних агентів)



Рисунок 4.24 – Результуюче сегментоване зображення $fs_R^{col}(X)$
(10% елітних агентів)

Висновки до розділу 4

1. Для підвищення якості дешифрування зображення з бортової системи ОЕС запропоновано проводити багатомасштабну обробку ОЕЗ. Проаналізовані відомі підходи до аналізу багатомасштабної інформації.

2. Встановлено, що підвищення якості за рахунок багатомасштабної обробки ОЕЗ засновано на тому, що штучні об'єкти (об'єкти інтересу) будуть знаходитися на декількох зображеннях з різним значенням масштабу. При цьому дешифрувальні ознаки штучних об'єктів можуть проявляти себе в той чи іншій мірі на декількох зображеннях з різним значенням масштабу. До того ж, деякі дешифрувальні ознаки штучних об'єктів можуть змінитися настільки, що можуть розглядатися як інша (додаткова) дешифрувальна ознака.

3. Викладена сутність методу багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму:

- ввід вихідних даних;
- тематичне сегментування ОЕЗ кожного масштабу методом на основі мурашиного алгоритму, отримання послідовності сегментованих зображень з різним значенням масштабу;
- перемасштабування послідовності сегментованих зображень з різним значенням масштабу до вихідного масштабу;
- розрахунок зображення-фільтру, яскравість кожного пікселя якого визначається мірою інформативності зображень з різним значенням масштабу та розраховується як усереднення яскравості відповідних пікселів зображень з різним значенням масштабу;
- визначення результуючого сегментованого зображення як попиксельного добутку вихідного зображення та зображення-фільтру;
- вивід результуючого сегментованого зображення.

4. Проведена багатомасштабна обробка тонових зображень з

бортових систем ОЕС. Встановлено, що використання багатомасштабної обробки підвищує візуальну якість обробки зображень.

5. Проведена багатомасштабна обробка кольорових зображень (кольоровий простір RGB) з бортових систем ОЕС. Метод багатомасштабної обробки кольорових ОЕЗ передбачає:

- ввід вихідних даних;
- виділення кольорових каналів на зображеннях з різним значенням масштабу;
- виділення каналів яскравості в кожному кольоровому каналі на зображеннях з різним значенням масштабу;
- тематичне сегментування зображень кожного кольорового каналу з різним значенням масштабу методом на основі мурашиного алгоритму, отримання послідовності сегментованих зображень в кожному кольоровому каналі з різним значенням масштабу;
- зворотний перехід до кольорової моделі RGB (об'єднання кольорових каналів) зображень з різним значенням масштабу;
- перемасштабування послідовності сегментованих зображень з різним значенням масштабу до вихідного масштабу;
- розрахунок зображення-фільтру сегментованих зображень з різним значенням масштабу;
- визначення результуючого сегментованого зображення;
- вивід результуючого сегментованого зображення.

Встановлено, що використання багатомасштабної обробки підвищує візуальну якість обробки кольорових зображень.

6. Проведена багатомасштабна обробка кольорових зображень з бортових систем ОЕС з застосуванням методу тематичного сегментування на основі мурашиного алгоритму з використанням елітних агентів. Встановлено, що використання елітних агентів зменшує кількість "сміттєвих" об'єктів. Збільшення відсотку елітних агентів також приводить до зменшення кількості "сміттєвих" об'єктів, але беручи до уваги те, що

мурашині алгоритми є ітераційними, збільшення кількості елітних агентів може привести в деяких випадках до знаходження локальних мінімумів цільової функції, що може вже негативно впливати на якість тематичного сегментування зображення.

7. 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.

Список використаних джерел у розділі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [91]–[92], [94]–[96], [101]–[102], [108]–[109], [243]–[244].

РОЗДІЛ 5

ПРИКЛАДНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У даному розділі наведена структура прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, проведено аналіз відомих показників якості сегментування ОЕЗ та їх основні недоліки. Для оцінки якості тематичного сегментування проведено розрахунки помилок першого та другого роду, запропоновані інформаційні показники – відстань Кульбака-Лейблера та ентропія сегментованого зображення. Проводиться порівняльний аналіз відомих методів тематичного сегментування та методів прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. Матеріали розділу викладені в роботах [93], [96], [98]–[100], [103]–[104], [106].

5.1 Структура прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

Інформаційну технологію тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС будемо розглядати у вигляді сукупності функцій, які певним чином пов'язані одна з одною і реалізують прийоми, способи і методи, що забезпечують отримання, зберігання, обробку, передачу та використання ОЕЗ. Для візуалізації та подальшого формального представлення структури і складу інформаційної технології тематичного сегментування зображень (intelligent information technology for the thematic

segmentation of images (ПТТСІ)) з бортових систем ОЕС будемо використовувати методологію системного моделювання IDEF0 (Integrated Computer Aided Manufacturing) Definition), що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT (Structured Analysis & Design Technique) [19], [245].

Технологію ПТТСІ відповідно до синтаксису та семантики IDEF0 представимо у вигляді [93], [104]:

– кортежу $T^{\text{ПТТСІ}}$ – вираз (5.1);

– множини $\{D_1^{\text{ПТТСІ}}\}$ – вираз (5.2);

– множини $\{L_j^1\}$ – вираз (5.3):

$$T^{\text{ПТТСІ}} = \langle \text{In}^{\text{ПТТСІ}}, \{D_1^{\text{ПТТСІ}}\} \rangle, \quad (5.1)$$

$$\{D_1^{\text{ПТТСІ}}\} = \{\{F_i^1\}, \{L_j^1\}\}, \quad (5.2)$$

$$L_j^1 = \{\{V_j^1\}, \{C_s^1\}, \{I_m^1\}, \{O_n^1\}, \{M_r^1\}\}, \quad (5.3)$$

де $\text{In}^{\text{ПТТСІ}}$ – 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, як інформаційної технології;

$\{D_1^{\text{ПТТСІ}}\}$ – множина рівнів деталізації представлення інформаційної технології ПТТСІ; $l=0, \dots, 3$, 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 $\{D_1^{\text{ПТТСІ}}\}$ рівні деталізації представлення

інформаційної технології ІТТІ. У якості функцій при $l=0$ розглядається (в термінології IDEF0) узагальнена "діяльність" (функція-діяльність) з ІТТІ. У якості функцій при $l=1$ розглядаються основні "процеси" (функції-процеси) роботи зі знаннями (даними) в ІТТІ, що реалізуються в ІТТІ. У якості функцій при $l=2$ розглядаються "підпроцеси" (функції-підпроцеси) роботи зі знаннями (даними) в рамках відповідного "процесу" на етапах розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування ОЕЗ. У якості функцій при $l=3$ розглядаються "операції" (функції-операції) роботи зі знаннями (даними) в ході розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування в рамках відповідного "процесу" на етапах розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування ОЕЗ;

$\{L_j^1\}$ – множина внутрішніх та граничних взаємодій елементів системи;

$\{V_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина внутрішніх взаємодій між функціями з множини $\{F_i^1\}$;

$\{C_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина керуючих граничних взаємодій програмних та технічних засобів, що реалізують інформаційну технологію ІТТІ;

$\{I_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина вхідних керуючих граничних взаємодій, що відображають дані (інформацію, знання), які перетворюються функцією;

$\{O_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина вихідних керуючих граничних взаємодій, що відображають дані (знання) про об'єкти, що виробляються функцією;

$\{M_j^1\} \subseteq \{L_j^1\}$ – множина граничних взаємодій, що відображають математичний апарат, що використовується для формалізації знань щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

На рис. 5.1 представлена контекстна діаграма верхнього рівня, що описує область та границі представлення технології ІТТІ у відповідності з виразом (5.4) [93], [104]:

$$D_0^{\text{ПТТСІ}} = \left\{ \left\{ F_1^0 \right\}, \left\{ C_1^0, I_1^0, I_2^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0 \right\} \right\}. \quad (5.4)$$

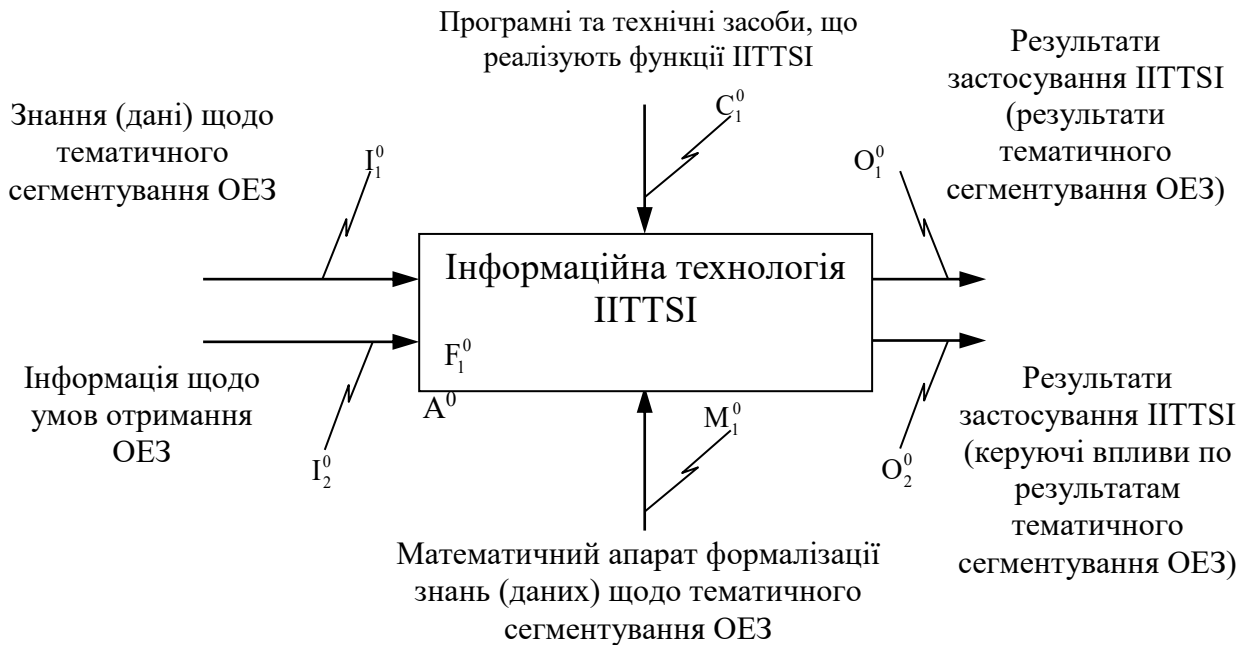


Рисунок 5.1 – Контекстна діаграма верхнього рівня, що описує область та границі представлення інформаційної технології ПТТСІ

На рис. 5.2 наведена верхня дочірня діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ПТТСІ у відповідності до виразу (5.5) [93], [104]:

$$D_1^{\text{ПТТСІ}} = \left\{ \left\{ F_i^1 \right\}, \left\{ C_1^0, I_1^0, I_2^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0, \left\{ V_t^1 \right\} \right\} \right\}, \quad (5.5)$$

де $t=1,2,\dots,7$ – кількість внутрішніх взаємодій у верхній дочірній діаграмі.

У якості функцій з множини $\{F_i^1\}$ верхньої дочірньої діаграми рівня $D_1^{\text{ПТТСІ}}$, що створюється при декомпозиції діаграми рівня $D_0^{\text{ПТТСІ}}$, розглядаються функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи:

– збору знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ $F_1^1 \in \{F_i^1\}$;

– зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

$$F_2^1 \in \{F_i^1\};$$

– обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

$$F_3^1 \in \{F_i^1\};$$

– передачі знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

$$F_4^1 \in \{F_i^1\};$$

– використання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

$$F_5^1 \in \{F_i^1\}.$$

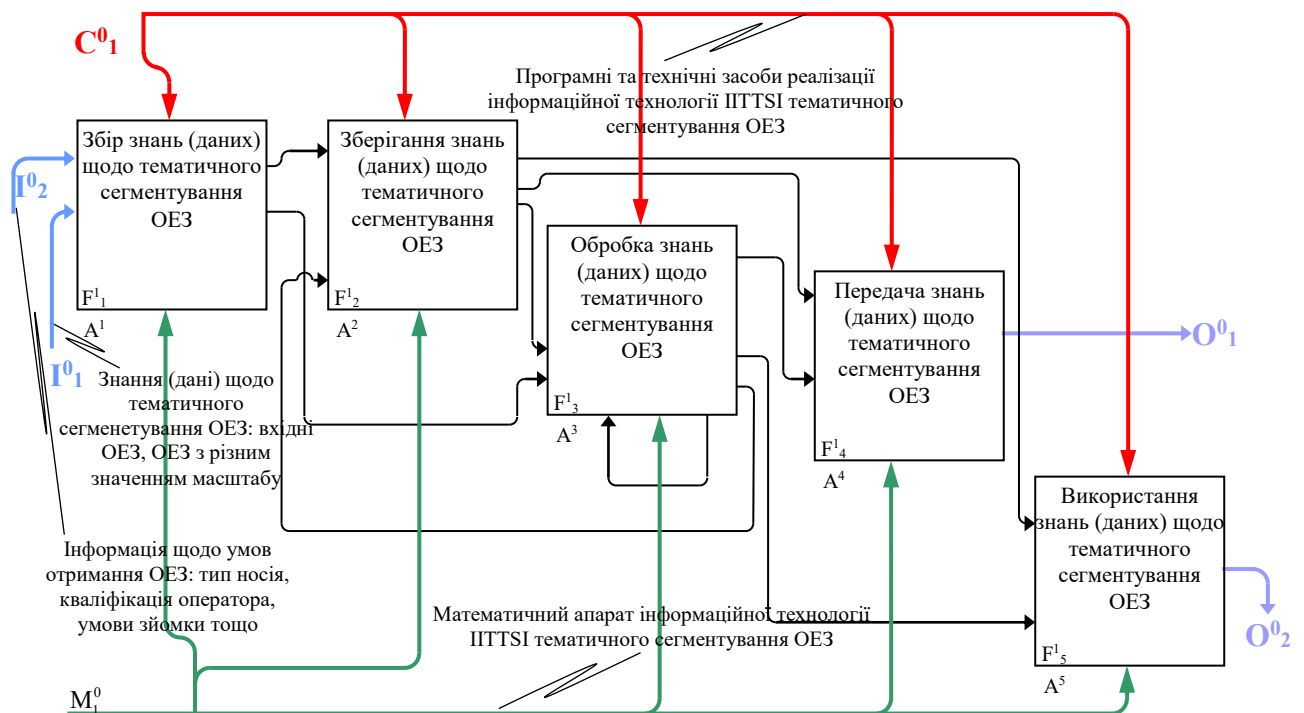


Рисунок 5.2 – Верхня дочірня діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ПТТСІ

Розглянемо коротко основні функції-процеси інформаційної технології ПТТСІ [93], [104].

Функція-процес збору знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ $F_1^1 \in \{F_i^1\}$ реалізується шляхом виконання наступних функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{11}^2 \in F_1^1$ збору знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ, що реалізується при розробці ПАК тематичного сегментування ОЕЗ;

– функція-підпроцес збору $F_{12}^2 \in F_1^1$ знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ, що реалізується в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{11}^2 визначається склад знань (даних) (в тому числі, з точки зору виділення декларативних та процедурних знань) щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{12}^2 виконується, при необхідності, корегування складу існуючих знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ, а також безпосередньо здійснюється прийом даних (фактів) на поточний момент часу від зовнішніх джерел інформації (наприклад, щодо району спостереження, фоно-об'єктової обстановки, астрономічного часу, часу доби тощо).

Функція-процес зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ $F_2^1 \in \{F_1^1\}$ реалізується шляхом виконання наступних функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{21}^2 \in F_2^1$ розробки бази знань (даних), що реалізується при розробці ПАК тематичного сегментування ОЕЗ;

– функція-підпроцес $F_{22}^2 \in F_2^1$ реалізації процесу безпосереднього зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ, що реалізується при експлуатації ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

Функція-підпроцес F_{21}^2 реалізується шляхом виконання наступних функцій-операцій:

– розроблюється архітектура ПАК тематичного сегментування, що визначає структуру, функції та взаємозв'язок компонентів ПАК;

– визначається склад технічних засобів для реалізації компонентів ПАК тематичного сегментування ОЕЗ;

– визначається склад програмних засобів для реалізації компонентів ПАК тематичного сегментування ОЕЗ (операційна система, мова програмування, інструментальні засоби інженерії знань (CASE-засоби (Computer-Aided Software Engineering)) тощо);

– виконується програмна реалізація компонентів ПАК тематичного сегментування ОЕЗ на основі обраних технічних та програмних засобів реалізації;

– здійснюється наповнення бази правил ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{22}^2 виконується зберігання в базі правил ПАК тематичного сегментування ОЕЗ введених або скорегованих на попередньому етапі правил, зберігання в базі правил ПАК тематичного сегментування ОЕЗ даних щодо умов ведення спостереження, фоно-об'єктової обстановки астрономічного часу, часу доби та результатів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

Функція-процес обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ $F_3^1 \in \{F_1^1\}$ реалізується шляхом виконання наступних функцій-підпроцесів (рис. 5.3):

– функція-підпроцес $F_{31}^2 \in F_3^1$ розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ (реалізується на етапі створення ПАК тематичного сегментування ОЕЗ);

– функція-підпроцес $F_{32}^2 \in F_3^1$ реалізації процесу безпосередньої автоматизованої обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

Функція-підпроцес F_{31}^2 реалізується шляхом виконання наступних функцій-операцій (рис. 5.4):

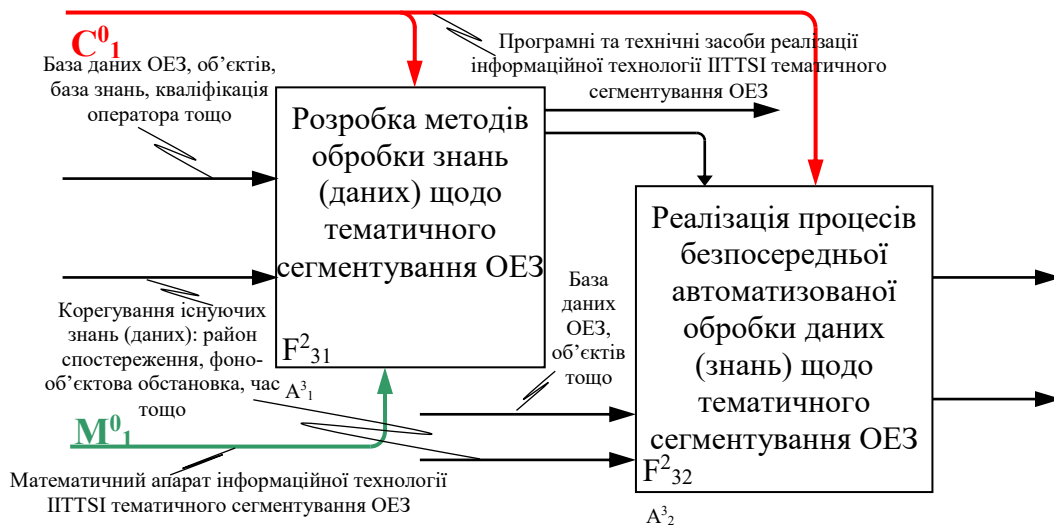


Рисунок 5.3 – Дочірня діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ІТТСІ для реалізації функції-процесу обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

- проводиться постановка завдань по формалізації процесу обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ;
- визначаються способи представлення знань (даних) (обґрунтовується вибір математичного апарату (моделі представлення знань (даних))) щодо тематичного сегментування ОЕЗ;
- проводиться формальне представлення процесів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ, а саме:
 - а) метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму;
 - б) метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС.

В ході реалізації функції-підпроцеса F^2_{32} виконується безпосередня реалізація методів тематичного сегментування ОЕЗ в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

Функції-процеси передачі $F^1_4 \in \{F^1_i\}$ та використання $F^1_5 \in \{F^1_i\}$ знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ реалізуються шляхом

виконання узагальненого алгоритму маніпулювання формалізованими знаннями в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування ОЕЗ.

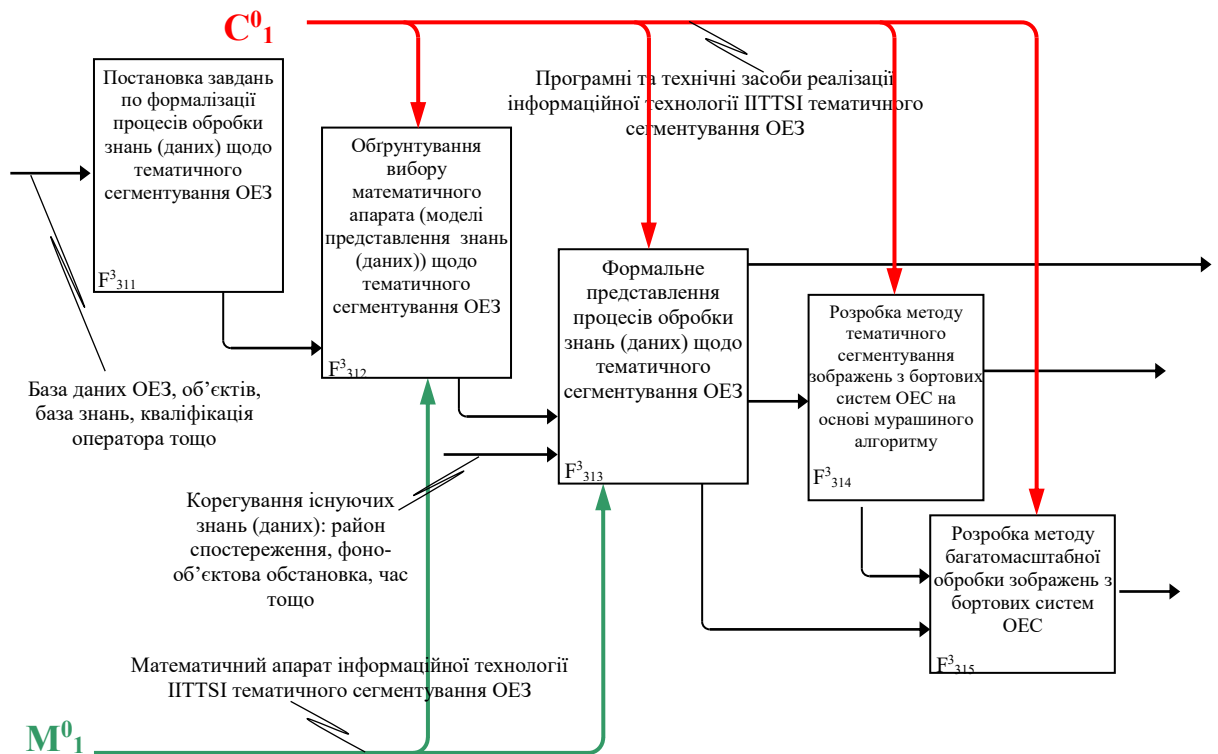


Рисунок 5.4 – Дочірня діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ПТТСІ для реалізації функції-підпроцесу розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ

5.2 Функціональна структура програмно-технічних засобів реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

На рис. 5.5 представлена функціональна структура програмно-технічних засобів реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

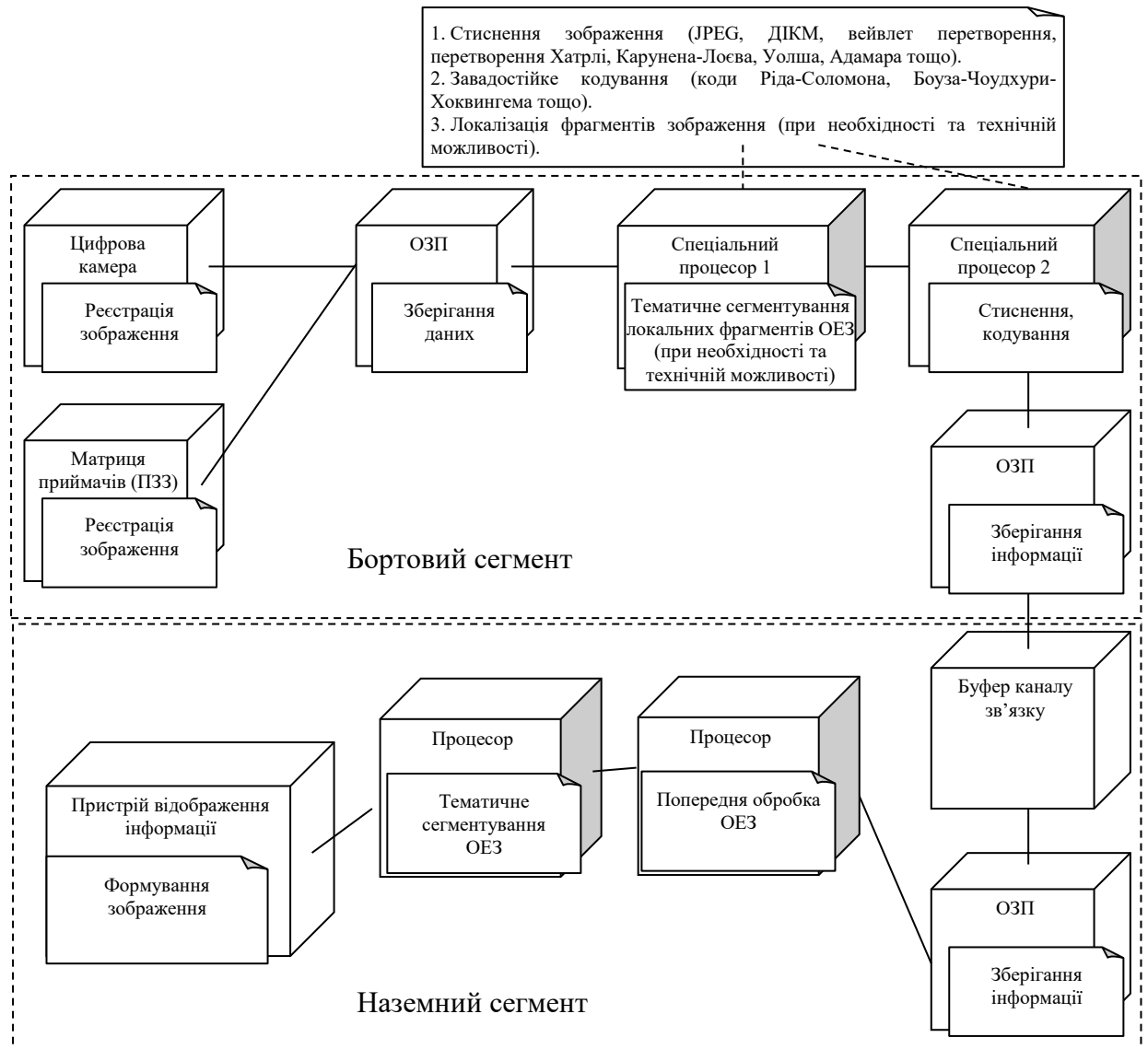


Рисунок 5.5 – Функціональна структура програмно-технічних засобів реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС

Реалізація прикладної інформаційної технології полягає у наступному:

- на етапі реєстрації інформації пристроєм реєстрації (цифрова камера, матриця приймачів на основі приладів з зарядовим зв'язком (ПЗЗ)) проводиться формування цифрового ОЕЗ. Вибір характеристик засобів реєстрації визначається цільовим призначенням бортової системи ОЕС;

- проводиться зберігання зображення в оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП). Одночасно отримується і зберігається

інформація щодо району спостереження, фоно-об'єктові обстановки, астрономічного часу, часу доби тощо. В ОЗП можуть також зберігатися бази даних (знань), що використовуються при розробці та функціонуванні бортової системи;

- при необхідності та наявності технічної можливості проводиться тематичне сегментування локальних фрагментів ОЕЗ методами тематичного сегментування на основі мурашиних алгоритмів. Реалізація методів проводиться на спеціальному процесорі 1, який входить до складу, наприклад, вбудованої платформи Jetson TK1 (чотирьохядерний процесор Cortex-A15 з частотою 1,5 ГГц і 192 графічними процесорами) [246];

- стиснення зображення (JPEG, диференційна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ), вейвлет-перетворення, перетворення Хатрлі, Карунена-Лоева, Уолша, Адамара тощо) та завадостійке кодування (коди Ріда-Соломона, Боуза-Чоудхури-Хоквінгема тощо);

- формування інформаційного масиву стисненого зображення для передавання на наземний сегмент;

- прийом зображення на наземному сегменті;

- попередня обробка зображення: відновлення зображення, компенсування спотворень відеоінформаційного тракту, корекція яскравості, геометрична корекція, радіометричне калібрування, корекція впливу атмосфери, відновлення пропущених пікселів тощо [3]–[4], [29]–[30], [52];

- тематичне сегментування зображення проводиться методом тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму та методом багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС;

- відображення інформації проводиться на засобах ПАК тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС.

Розглянемо детально структуру алгоритму, що реалізує функцію-підпроцес F_{31}^2 та відповідні функції-оператори прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, в

основу якої покладені метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС та метод обробки багатомасштабної послідовності зображень з бортових систем ОЕС [93], [104].

5.3 Структура алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

Структура алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС наведена на рис. 5.6 [93], [104], [106]. В основу алгоритму покладені і розглядаються функції-операції функцій підпроцесів F_{31}^2 та F_{32}^2 – формальне представлення процесів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ: метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиного алгоритму та метод багатомасштабної обробки зображень з бортових систем ОЕС.

Таким чином, на відміну від відомих, удосконалена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС передбачає 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 [93], [96], [98]–[100], [103]–[104], [106].

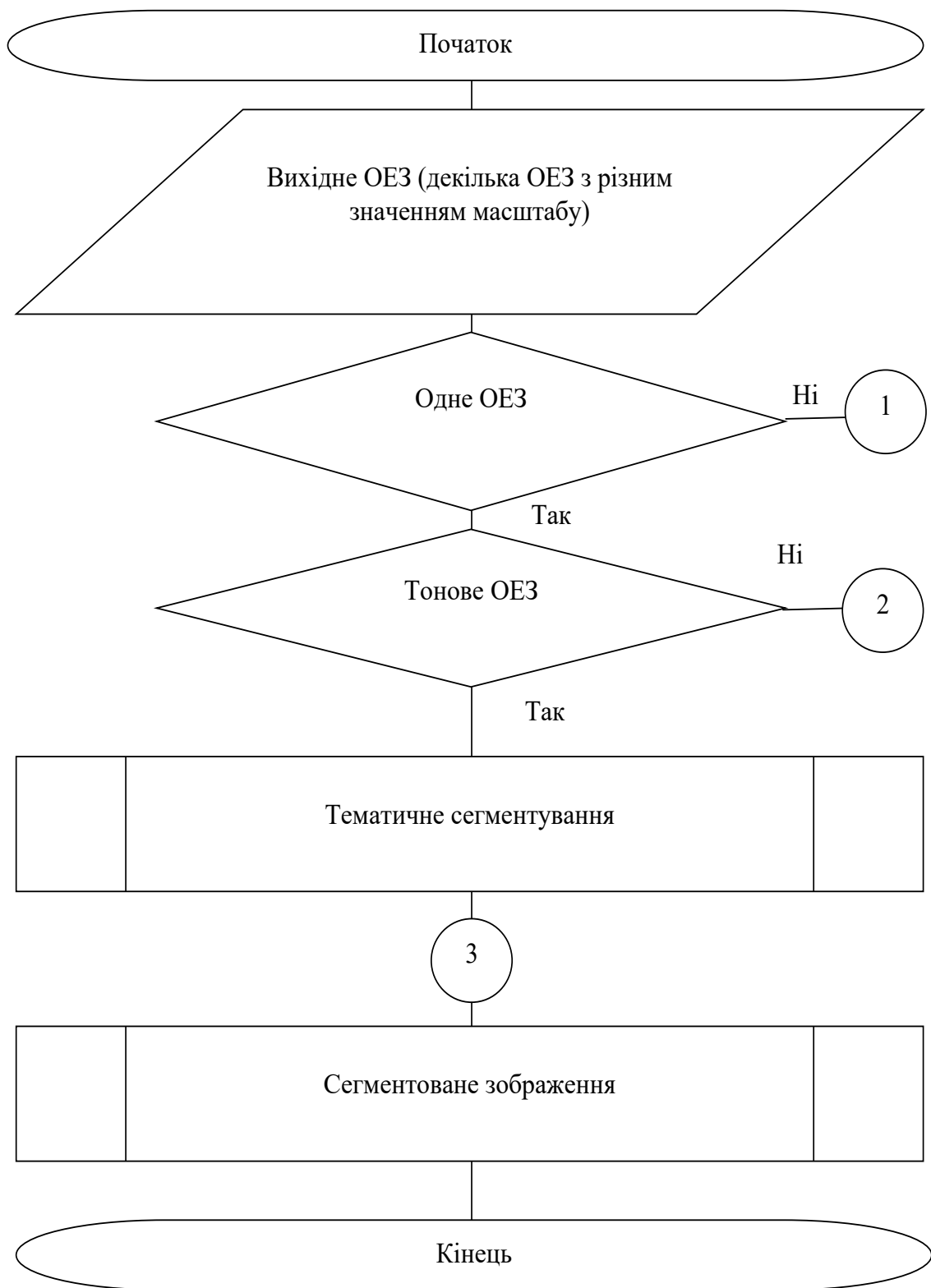


Рисунок 5.6 – Блок-схема алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС, аркуш 1



Рисунок 5.6, аркуш 2

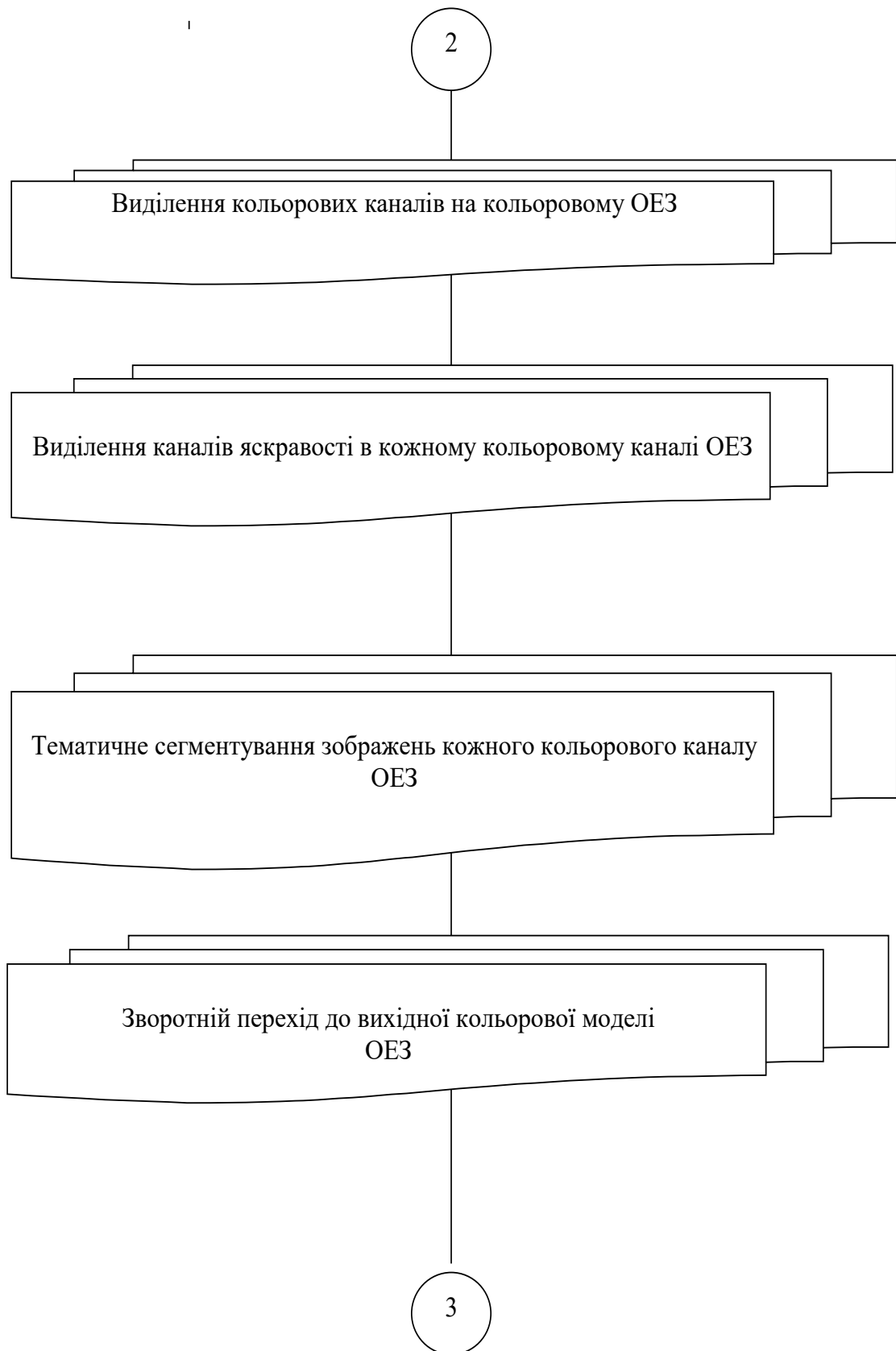


Рисунок 5.6, аркуш 3



Рисунок 5.6, аркуш 4

5.4 Особливості реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження у програмно-технічному комплексі управління геопросторовими даними

Розглянемо особливості реалізації прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС у програмно-технічному комплексі (ПТК) управління геопросторовими даними (УГПД).

ПТК УГПД призначений для створення, редагування, зберігання та публікування централізованої бази векторних та растрових даних з можливістю використання різноманітних геоінформаційних сервісів (ГІС), управління потоками геоінформаційних даних [247]–[248].

До складу ПТК УГПД входить [247]–[248]:

- комплекс технічних засобів та загальносистемне програмне забезпечення;
- спеціальне програмне забезпечення;
- спеціалізоване обладнання автоматизованих робочих місць (АРМ).

Типові АРМ (рис. 5.7):

- АРМ1, сервер зі сховищем даних – 1;
- АРМ2, адміністратор баз даних – 1;
- АРМ3, управління растровими даними – 1;
- АРМ4, управління векторними даними – 1;
- АРМ5, спеціальний аналіз даних спостереження – 1;
- АРМ6, візуалізація і моніторинг даних спостереження – 1.

Функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи збору знань (даних) щодо тематичного сегментування, виконуються на АРМ3 – управління растровими даними та на АРМ4 – управління векторними даними.



Рисунок 5.7 – Склад ІТК УГПД

Функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування, виконуються на АРМ2 – адміністратор баз даних та на АРМ1 – сервері зі сховищем даних.

Функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування, виконуються на АРМ5 – спеціальний аналіз даних спостереження.

Функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи передачі знань (даних) щодо тематичного сегментування, виконуються на АРМ1 – сервері зі сховищем даних (рис. 5.8). При цьому використовуються наступні засоби:

– Web Map Service (WMS) – протокол для видачі географічно прив'язаних даних через Internet;

– Web Feature Service (WFS) – веб-сервіс просторових об'єктів, що визначає інтерфейси та операції, які дозволяють робити запит та редагувати векторні просторові дані (дороги, берегові лінії тощо);

– Wi-Fi Protected Setup (WPS) – стандарт для підключення до безпроводної мережі;

– Web Coverage Service (WCS) – веб-сервіс, що визначає інтерфейси та операції, що дозволяють взаємодіяти з просторовими даними ("покриттями").

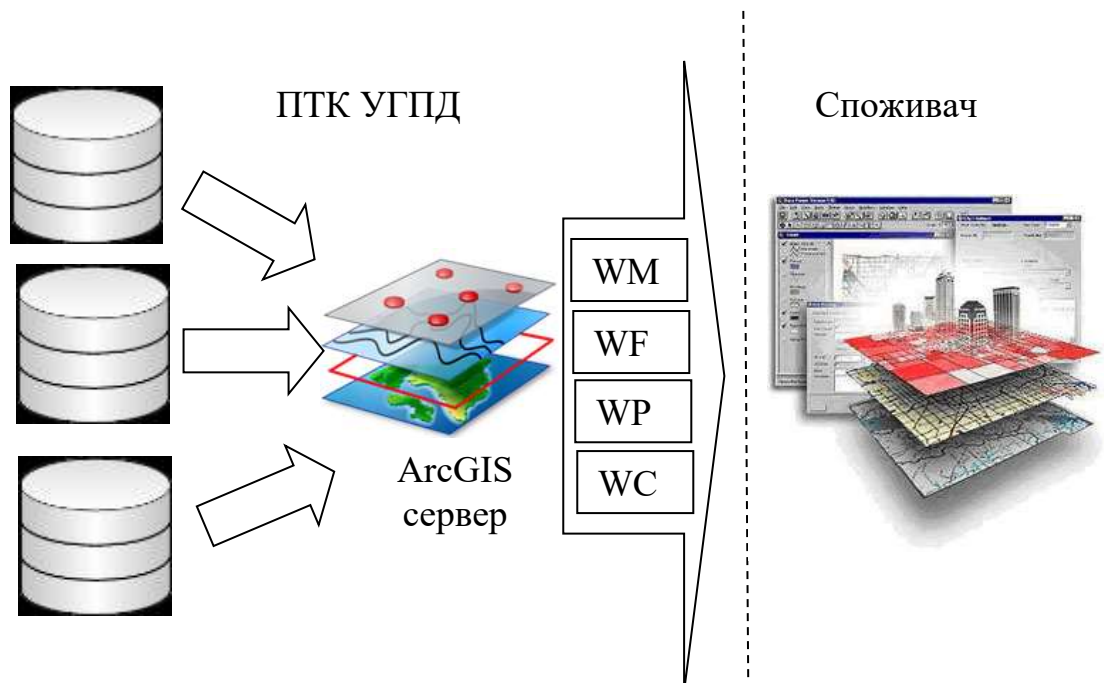


Рисунок 5.8 – Передача інформації споживачу з ПТК УГПД

Функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи використання знань (даних) щодо тематичного сегментування, виконуються на АРМб – візуалізації і моніторингу даних спостереження.

Технічні характеристики обладнання ПТК УГПД наведені в [247]–[248] та в роботі не розглядаються.

5.5 Показники якості методів прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

З аналізу існуючих показників якості сегментування ОЕЗ [96], [98]–[100], [103], [106], [249]–[250] встановлено, що відомі показники якості сегментування зображення мають наступні недоліки:

- іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;

- не враховується розташування помилкових пікселів відносно відповідного сегменту – тому помилка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;

- не враховується різниця у важливості окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;

- відсутня інформація про клас пікселів, що вносить найбільшу помилку;

- неврахування оцінки малих ("сміттєвих") областей на сегментованому зображенні.

В дисертаційні роботі для оцінки якості тематичного сегментування ОЕЗ прийняті помилки тематичного сегментування першого та другого роду, інформаційні показники – відстань Кульбака-Лейблера та ентропія сегментованого зображення [96], [98]–[100], [103], [106].

Помилки тематичного сегментування першого та другого роду визначаються при використанні критерію максимальної правдоподібності, що витікає з узагальненого критерію мінімуму середнього ризику [156]–[158]. Помилка тематичного сегментування першого роду $\alpha_1(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X}))$ визначається за виразом (5.6) [156]–[158]:

$$\alpha_1(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = \frac{1}{NM} \sum_{\mathbf{X} \in Z_f} fs(\mathbf{X}), \quad (5.6)$$

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

NM – кількість пікселів на зображенні.

Помилка тематичного сегментування другого роду $\beta_2(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X}))$ визначається за виразом (5.7) [156]–[158]:

$$\beta_2(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = \frac{1}{NM} \sum_{\mathbf{X} \in Z_{fs}} f(\mathbf{X}), \quad (5.7)$$

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

При переході до площини об'єктів інтересу та фону помилки першого та другого роду розраховуються за виразами (5.8)–(5.9)

$$\alpha_1(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = \frac{S_1(fs(\mathbf{X}))}{S_2(f(\mathbf{X}))}, \quad (5.8)$$

$$\beta_2(f(\mathbf{X}), fs(\mathbf{X})) = 1 - \frac{S_3(fs(\mathbf{X}))}{S_4(f(\mathbf{X}))}, \quad (5.9)$$

де $S_1(fs(\mathbf{X}))$ – площа ділянок фону, що помилково віднесена до об'єктів інтересу на сегментованому зображенні $fs(\mathbf{X})$;

$S_2(f(\mathbf{X}))$ – площа ділянок фону вихідного зображення $f(\mathbf{X})$;

$S_3(fs(\mathbf{X}))$ – площа правильно сегментованих об'єктів інтересу;

$S_4(f(\mathbf{X}))$ – площа об'єктів інтересу на вихідному зображенні $f(\mathbf{X})$.

Помилки першого та другого роду не пов'язані з кількістю інформації, що відображена на сегментованому зображенні у порівнянні з вихідним.

Тому, для оцінки якості сегментування введемо інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейблера $K(p_\xi, p_\eta)$ (вираз (5.10)) [96], [99]–[100], [103], [217]:

$$K(p_\xi, p_\eta) = \int_{R^2} p_\xi(U) \log_2 \frac{p_\xi(U)}{p_\eta(U)} dU, \quad (5.10)$$

де $p_\xi(U)$ – розподіл яскравості на вихідному зображенні;

$p_\eta(U)$ – розподіл яскравості на сегментованому зображенні;

R^2 – площа зображення.

Інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейблера $K(p_\xi, p_\eta)$ дозволяє оцінити втрати інформації при тематичному сегментуванні ОЕЗ. Введемо p_i – ймовірність попадання яскравості пікселя в i -ий сегмент ($\sum_{i=1}^N p_i = 1$, N – кількість сегментів). Якщо p_i – ймовірність для i -ого сегмента вихідного зображення, а q_i – ймовірність для i -ого сегмента сегментованого зображення, то відстань Кульбака-Лейблера можна розрахувати за виразом (5.11) [96], [99]–[100], [103], [217]:

$$K(p_\xi, p_\eta) = \sum_{i=1}^N p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i}. \quad (5.11)$$

В роботі поруч з інформаційним показником – відстанню Кульбака-Лейблера будемо використовувати ще один інформаційний показник – ентропію сегментованого зображення (вираз (5.12)) [88], [96], [99]:

$$H = - \sum_c p_c \log_2 p_c, \quad (5.12)$$

де p_c – ймовірність появи на зображенні кольору c , що обчислюється по гістограмі яскравості зображення.

5.6 Порівняльна оцінка якості методів прикладної інформаційної технології та відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження

У якості відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС обрані:

- фільтр локальної дисперсії [48]–[52];
- метод Random forest [23]–[25];
- метод Otsu [23]–[25];
- метод Canny [46]–[47];
- метод k-means [52], [190].

Порівняння будемо проводити в умовах впливу основних спотворюючих факторів: поворот ОЕЗ, зміна масштабу ОЕЗ, вплив шумів (АБГШ, "сіль та перець", спекл) на ОЕЗ. Порівняння будемо проводити шляхом візуальної оцінки, розрахунку помилок першого та другого роду, відстані Кульбака-Лейблера та ентропії сегментованого зображення [93], [96], [98]–[100], [103]–[104], [106].

На рис. 5.9 наведені вихідні ОЕЗ, що повернуті на різні кути повороту φ . На рис. 5.10 наведені вихідні ОЕЗ, що спотворені зміною масштабу з різним масштабним коефіцієнтом μ . На рис. 5.11 наведені вихідні ОЕЗ під впливом АБГШ з різними значеннями середнього квадратичного відхилення (СКВ) $\sigma_{ш}$. На рис. 5.12 наведені вихідні ОЕЗ під впливом шуму "сіль та перець" з різними значеннями СКВ $\sigma_{ш}$. На рис. 5.13 наведені вихідні ОЕЗ під впливом спекл-шуму з різними значеннями СКВ $\sigma_{ш}$.

 $\varphi = 10^\circ$  $\varphi = -10^\circ$  $\varphi = 30^\circ$  $\varphi = -30^\circ$  $\varphi = 45^\circ$  $\varphi = -45^\circ$

Рисунок 5.9 – Вихідні ОЕЗ, що повернуті на різні кути φ

 $\mu = 0,5$  $\mu = 0,8$  $\mu = 1,2$  $\mu = 1,5$  $\mu = 1,8$  $\mu = 2,0$

Рисунок 5.10 – Вихідні ОЕЗ, що спотворені зміною масштабу з різним масштабним коефіцієнтом μ



$$\sigma_{\text{ш}} = 5$$



$$\sigma_{\text{ш}} = 15$$



$$\sigma_{\text{ш}} = 25$$



$$\sigma_{\text{ш}} = 35$$



$$\sigma_{\text{ш}} = 45$$



$$\sigma_{\text{ш}} = 50$$

Рисунок 5.11 – Вихідні ОЕЗ під впливом АБГШ з різними $\sigma_{\text{ш}}$



$$\sigma_{III} = 5$$



$$\sigma_{III} = 15$$



$$\sigma_{III} = 25$$



$$\sigma_{III} = 35$$



$$\sigma_{III} = 45$$



$$\sigma_{III} = 50$$

Рисунок 5.12 – Вихідні ОЕЗ під впливом шуму "сіть та перець" з різними σ_{III}



$$\sigma_{III} = 5$$



$$\sigma_{III} = 15$$



$$\sigma_{III} = 25$$



$$\sigma_{III} = 35$$



$$\sigma_{III} = 45$$



$$\sigma_{III} = 50$$

Рисунок 5.13 – Вихідні ОЕЗ під впливом спекл-шуму

з різними σ_{III}

На рис. 5.14–5.18 наведені результати тематичного сегментування ОЕЗ відомими методами, а саме: рис. 5.14 – методом Otsu; рис. 5.15 – методом Canny; рис. 5.16 – методом k-means при різному значенні класів k ; рис. 5.17 – методом Random forest; рис. 5.18 – фільтром локальної дисперсії (вікно обробки розміром (3×3)).

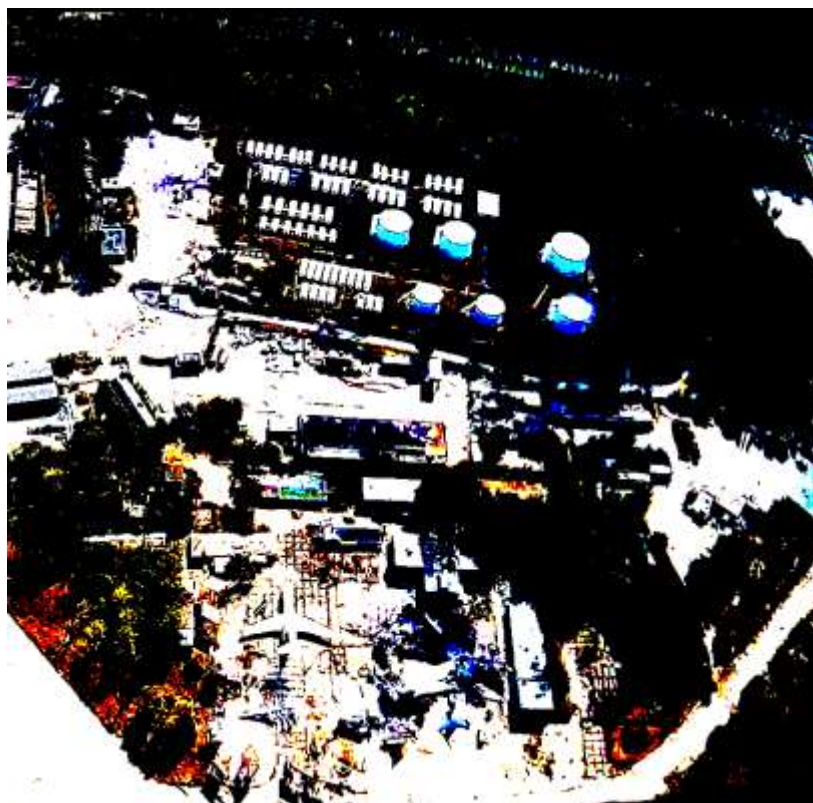


Рисунок 5.14 – Сегментоване ОЕЗ методом Otsu

Візуальна оцінка якості сегментованих зображень відомими методами (рис. 5.14–5.18), та розробленими методами прикладної інформаційної технології тематичного сегментування з бортових систем ОЕС (рис. 3.8, рис. 4.9) свідчить про більш якісне сегментування розробленими методами прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС [93], [96], [99]–[100], [103]–[104], [106].

Для кількісної оцінки показників якості тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС в роботі проведено розрахунок помилок тематичного сегментування першого та другого роду за виразами (5.6)–(5.9),

результати наведені в табл. 5.1. В умовах впливу спотворюючих факторів значення помилок тематичного сегментування першого та другого роду розраховувалося як середнє значення для відповідних спотворюючих факторів [106]. На рис. 5.19–5.26 проведена оцінка якості тематичного сегментування ОЕЗ різними методами. Оцінка проведена шляхом розрахунку інформаційних показників – відстані Кульбака-Лейблера та ентропії сегментованого зображення. На рис. 5.19–5.23 наведені графіки залежності відстані Кульбака-Лейблера від масштабного коефіцієнта (рис. 5.19), від кута повороту (рис. 5.20), від СКВ АБГШ (рис. 5.21), шуму "сіль та перець" (рис. 5.22), спекл-шуму (рис. 5.23) [93], [96], [98]–[100], [103]–[104], [106].

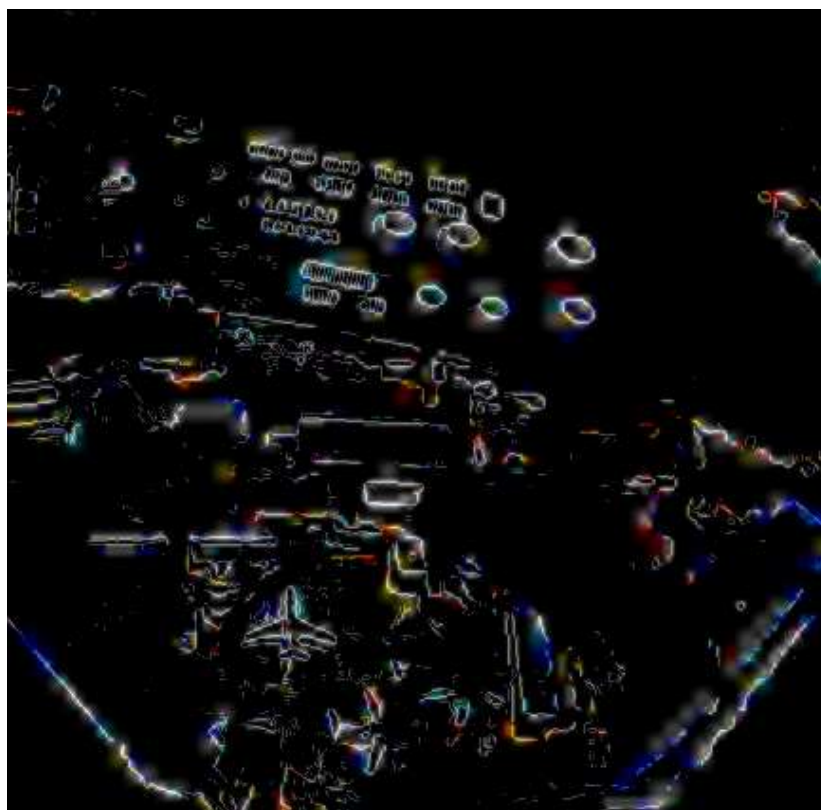


Рисунок 5.15 – Сегментоване ОЕЗ методом Canny



k=2



k=3

Рисунок 5.16 – Вихідні (зліва) та сегментовані (справа) ОЕЗ методом k-means при різному значенні класів k, аркуш 1



k=4



k=5

Рисунок 5.16, аркуш 2

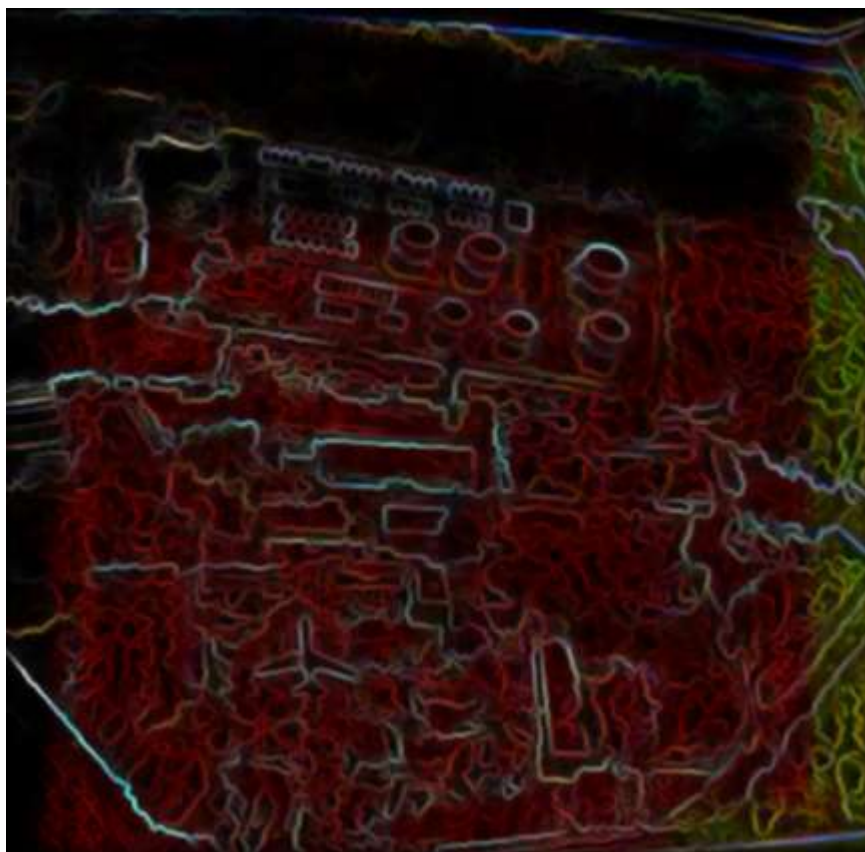


Рисунок 5.17 – Сегментоване ОЕЗ методом Random forest



Рисунок 5.18 – Сегментоване ОЕЗ фільтром локальної дисперсії
(вікно обробки 3x3))

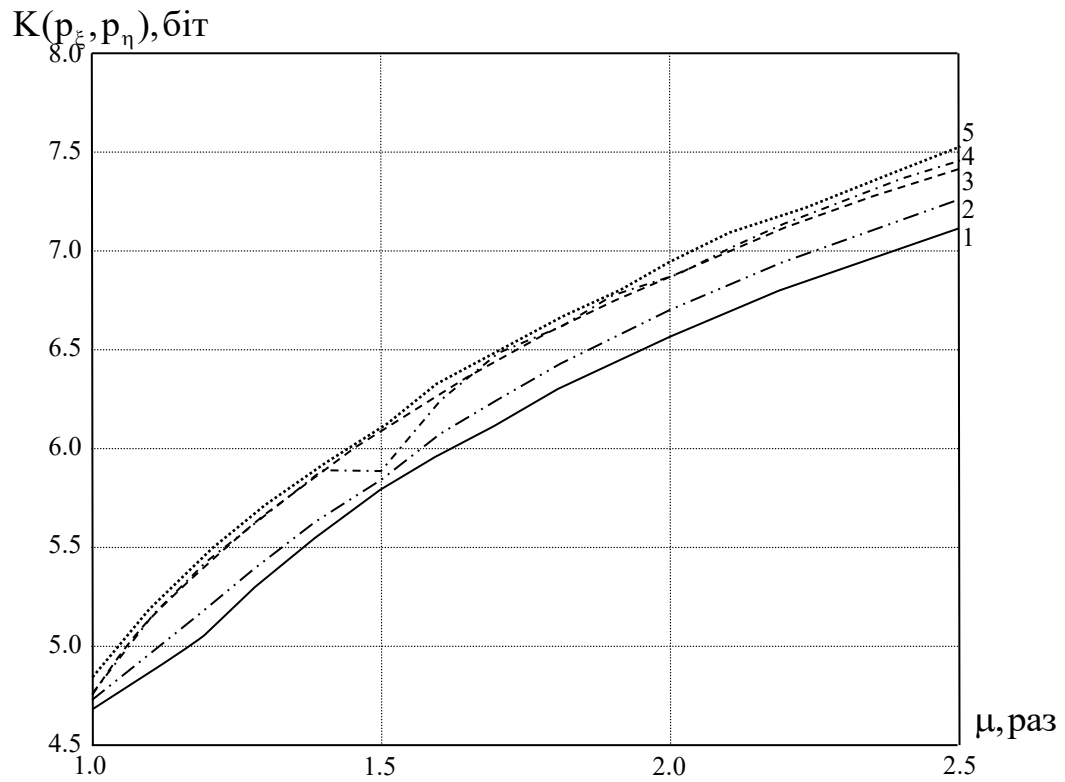


Рисунок 5.19 – Залежність відстані Кульбака-Лейблера від зміни масштабного коефіцієнта ОЕЗ

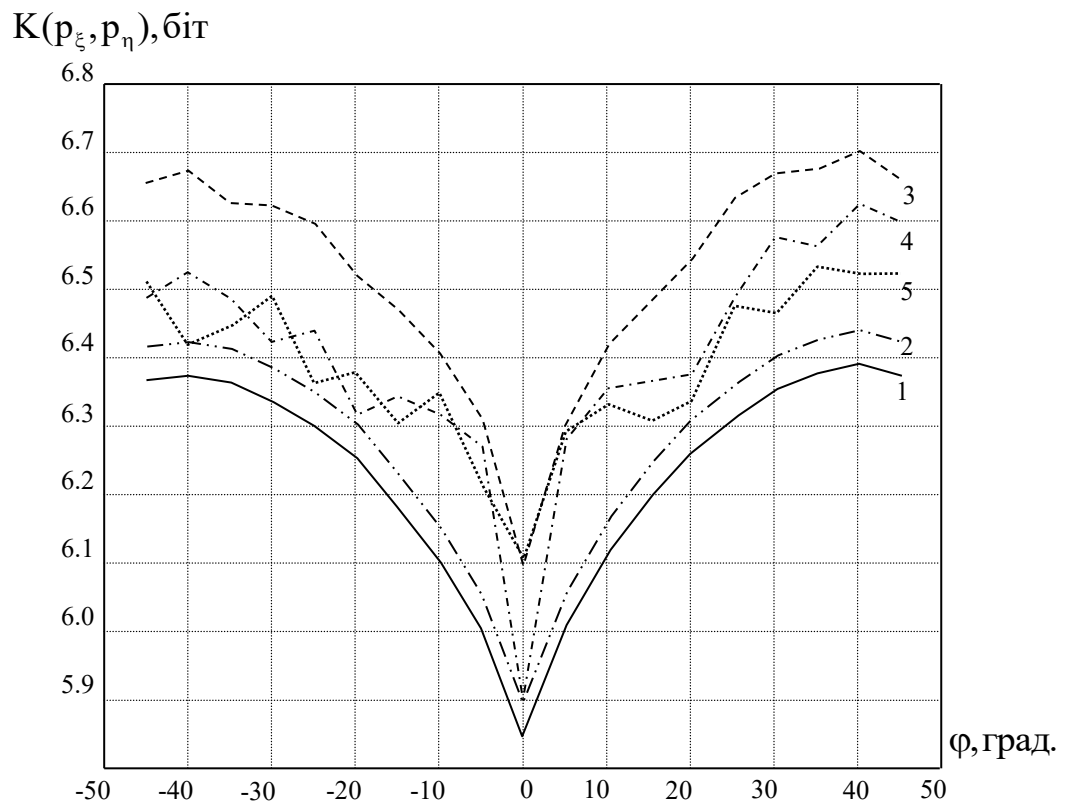


Рисунок 5.20 – Залежність відстані Кульбака-Лейблера від кута повороту ОЕЗ

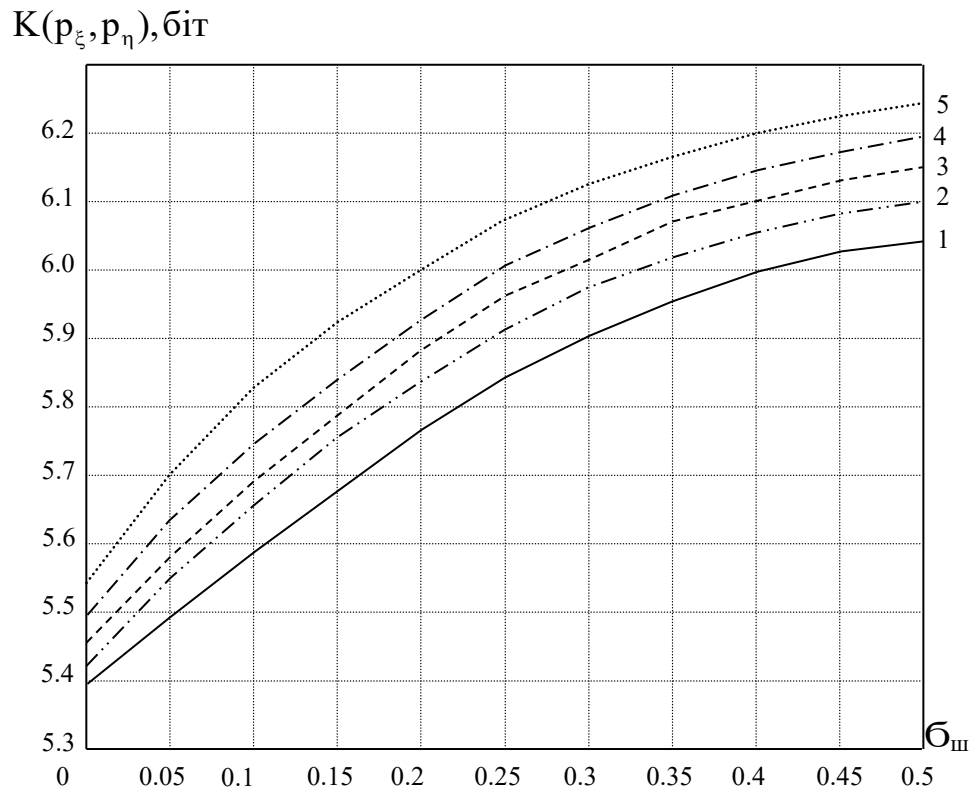


Рисунок 5.21 – Залежність відстані Кульбака-Лейблера від СКВ АБГШ

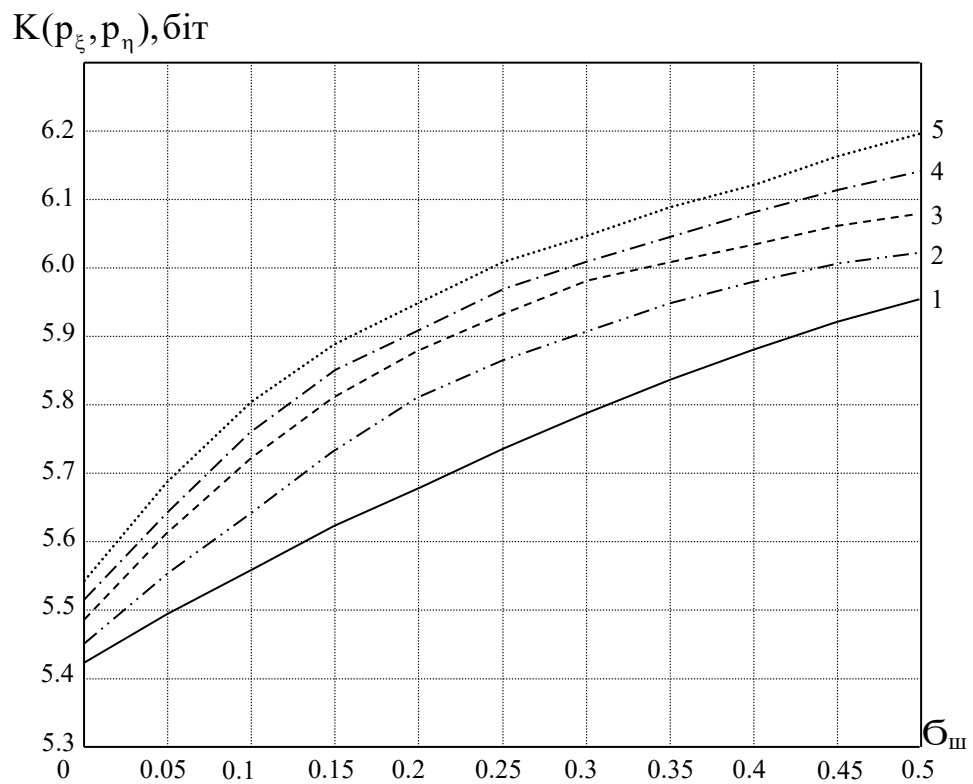


Рисунок 5.22 – Залежність відстані Кульбака-Лейблера від СКВ шуму "сіть та перець"

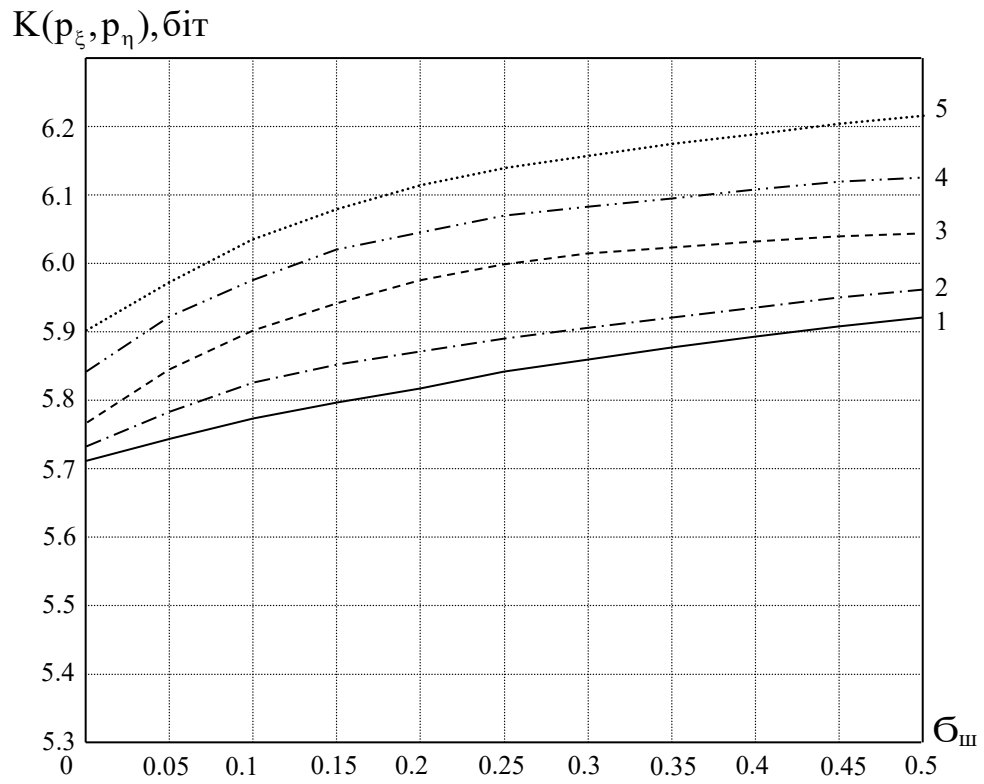


Рисунок 5.23 – Залежність відстані Кульбака-Лейблера від СКВ спекл-шуму

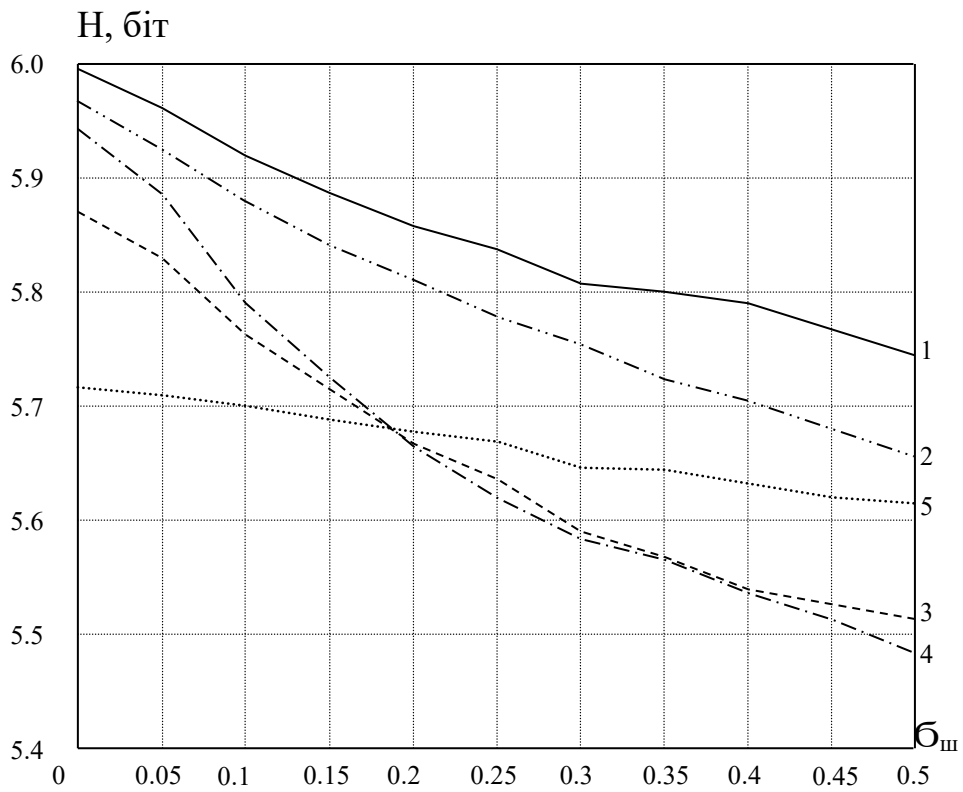


Рисунок 5.24 – Залежність ентропії сегментованого зображення від СКВ

АБГШ

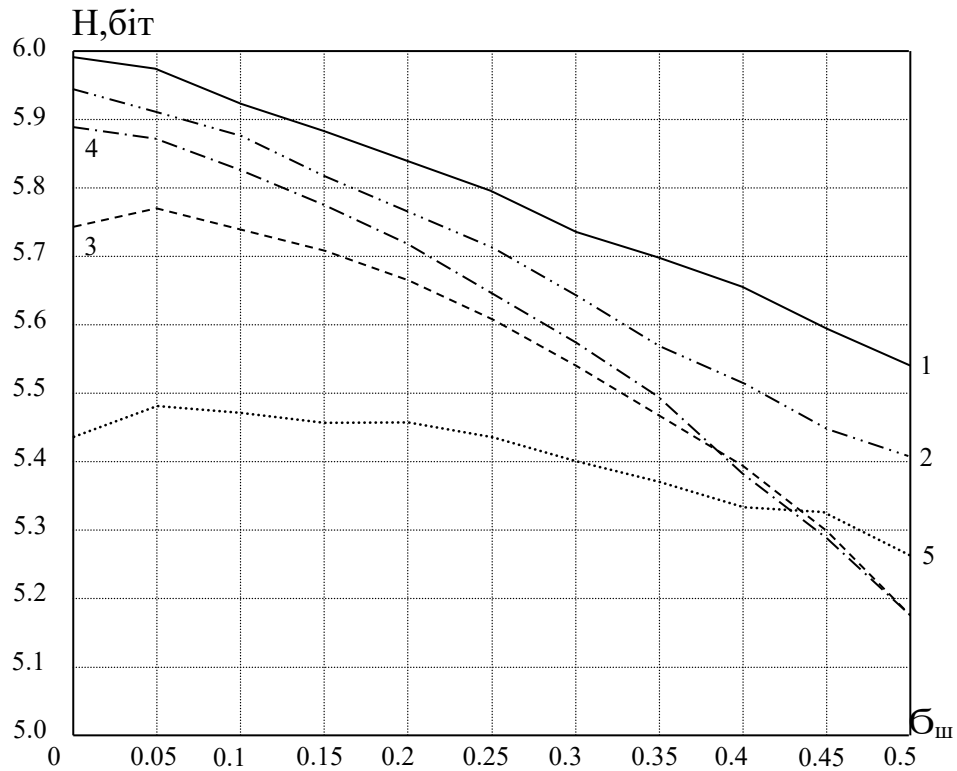


Рисунок 5.25 – Залежність ентропії сегментованого зображення від СКВ шуму "сіль та перець"

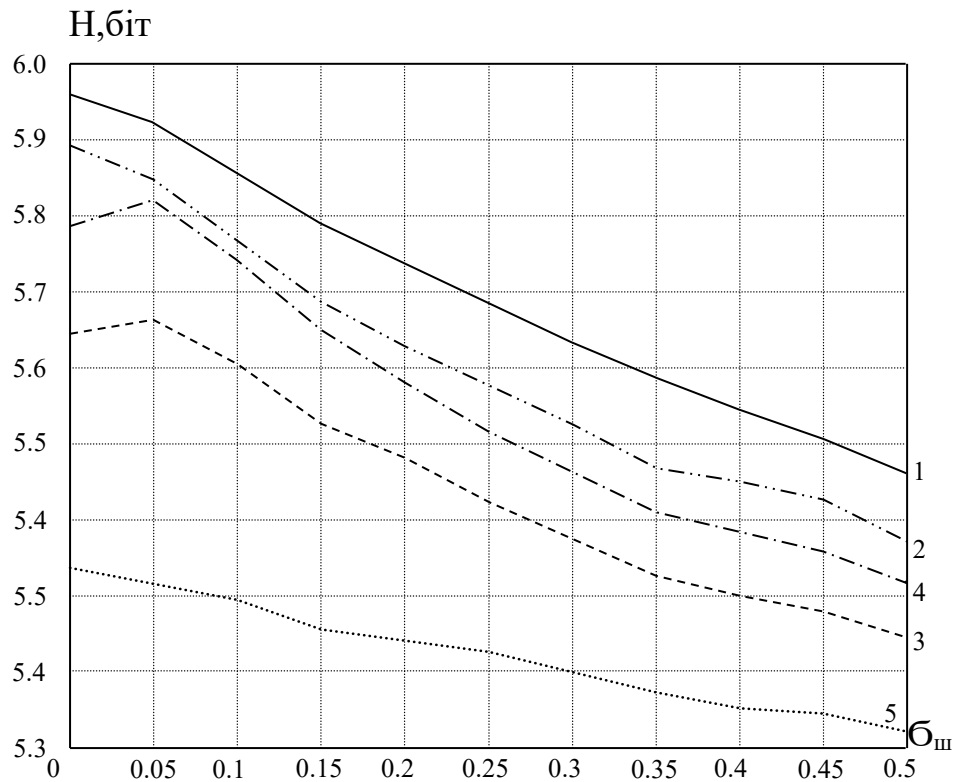


Рисунок 5.26 – Залежність ентропії сегментованого зображення від СКВ спекл-шуму

Таблиця 5.1 – Оцінка помилок першого та другого роду тематичного сегментування ОЕЗ різними методами тематичного сегментування

Метод тематичного сегментування	Без спотворень		Поворот		Зміна масштабу		Шуми					
							АБГШ		"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	22,70	27,66	20,3	26,5	21,3	27,0
Фільтр локальної дисперсії	17,15	21,84	20,23	25,89	18,90	26,26	21,77	26,08	19,8	25,34	20,97	26,33
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 прикладної інформаційної технології тематичного сегментування (ПТТСІ) на основі мурашиних алгоритмів	8,15	11,84	12,23	15,89	11,01	13,66	15,77	16,08	10,99	14,34	15,97	17,33

Розрахунок відстані Кульбака-Лейблера проводився за виразом (5.11).

На рис. 5.24–5.26 наведені графіки залежності ентропії сегментованого зображення від СКВ АБГШ (рис. 5.24), шуму "сіль та перець" (рис. 5.25), спекл-шуму (рис. 5.26).

Цифрами на рис. 5.19–5.26 позначені:

– 1 – методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів;

– 2 – метод Canny;

– 3 – k-means (k=4);

– 4 – метод Random forest;

– 5 – метод Otsu.

З аналізу табл. 5.1 та рис. 5.16–5.23 встановлено, що використання розроблених в дисертаційній роботі методів інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС на основі мурашиних алгоритмів дозволить в середньому 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%).

Висновки до розділу 5

1. Наведена структура прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС (ІТТІ). Для цього використовується методологія системного моделювання IDEF0. У відповідності до синтаксису та семантики IDEF0 формально інформаційна технологія представлена у вигляді:

– контекстної діаграми верхнього рівня, що описує область та границі представлення технології ІТТІ;

– верхньої дочірньої діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ІТТІ;

– дочірньої діаграми, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ПТТСІ;

– дочірньої діаграми тематичного, що описує функції-операції інформаційної технології ПТТСІ для реалізації функції підпроцесу розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ.

2. Розроблена структура алгоритму, що реалізує методи прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. В основу алгоритму покладені метод тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС та метод обробки багатомасштабної послідовності зображень з бортових систем ОЕС.

3. Встановлена, що, на відміну від відомих, удосконалена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС використовує методологію системного моделювання IDEF0, що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT, передбачає визначення кількості та масштабності зображень, кольорового простору представлення зображень, виділення каналів яскравості кожного кольорового простору, застосування для тематичного сегментування ОЕЗ мурашиних алгоритмів.

4. Розроблено пропозиції щодо побудови ПАК тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. ПАК тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС доцільно реалізувати у складі спеціалізованого ПАК обробки інформації спостереження або у складі комплексу програмно-технічного управління геопросторовими даними.

5. Проаналізовано відомі показники якості сегментування ОЕЗ. Встановлено, що відомі показники якості сегментування зображення мають наступні недоліки:

– іноді результати сегментування, які є найкращими з точки зору експертів, мають більш високий відсоток помилково класифікованих пікселів;

– не враховується розташування помилкових пікселів відносно

відповідного сегменту – тому помилка на границі та помилка в центрі сегменту повинні штрафуватися по різному;

– не враховується різниця у важності окремих ділянок зображення для сегментування – помилки для різних сегментів зображення повинні мати різну вагу;

– відсутня інформація про клас пікселів, що вносить найбільшу помилку;

– неврахування оцінки малих ("сміттєвих") областей на сегментованому зображенні.

6. Запропоновано для оцінки якості тематичного сегментування ОЕЗ використовувати помилки тематичного сегментування першого та другого роду, інформаційні показники – відстань Кульбака-Лейблера та ентропія сегментованого зображення. Наведені математичні вирази для розрахунку запропонованих показників оцінки якості тематичного сегментування ОЕЗ.

7. Проведена порівняльна оцінка якості методів прикладної інформаційної технології та відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. У якості відомих методів тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС обрані: фільтр локальної дисперсії (вікно обробки розміром (3x3)), метод Random forest, метод Otsu, метод Canny, метод k-means. Порівняння проведено в умовах впливу основних спотворюючих факторів: поворот ОЕЗ, зміна масштабу ОЕЗ, вплив шумів (АБГШ, "сіть та перець", спекл) на ОЕЗ. Порівняння проведено шляхом візуальної оцінки, розрахунку помилок першого та другого роду, відстані Кульбака-Лейблера та ентропії сегментованого зображення.

8. Встановлено добре співпадіння (довірча ймовірність $\sim 0,9$) теоретичних розрахунків та результатів обробки тонових та кольорових ОЕЗ.

9. Встановлено, що використання розроблених в дисертаційній роботі методів інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕЗ дозволить в середньому 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%).

Список використаних джерел у розділі наведено у повному списку використаних джерел під номерами [3]–[4], [19], [23]–[25], [29]–[30], [46]–[52], [88], [93], [96], [98]–[100], [103]–[104], [106], [156]–[158], [190], [217], [245], [247]–[250].

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 порівняльну оцінку 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 в середньому 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. Практичне значення результатів роботи полягає у розробці прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень з бортових систем ОЕС. 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;

- в науково-дослідній роботі "Створення карт лісових масивів з використанням даних з супутника "Січ-2" на прикладі Рівненської області" (шифр "GEO-Ukraine-Ліс") при відпрацюванні сучасних підходів до обробки космічних знімків в інтересах реалізації екологічного моніторингу;

- у спеціалізованому програмно-апаратному комплексі обробки інформації у вигляді алгоритмів і програм робочого місця інтерпретатора-дешифрувальника;

- при обґрунтуванні технічних характеристик перспективних систем озброєння, а саме: систем обробки ОЕЗ в оптико-електронних станціях бортових комплексів оборони літальних апаратів; оптико-електронного каналу системи керування блоку аеродинамічного керування "Адрос" БАУ-01КТ;

- в ході дослідницьких навчань при сегментуванні складноструктурованих зображень, що отримані з бортових систем спостереження, в інтересах охорони і оборони позиції;

- в ході дослідних навчань при сегментуванні багатомасштабної послідовності складноструктурованих зображень, що отримані з борту літального апарату ОЕС, в інтересах охорони і оборони позиції;

- при вдосконаленні системи розпізнавання класів радіосигналів Пристрою радіомоніторингу КХ діапазону "Сектор".

7. На користь обґрунтованості та достовірності наукових результатів дисертаційної роботи свідчать наступні фактори:

- використання в роботі теоретично обґрунтованих та апробованих на практиці методів аналізу і синтезу складних інформаційних систем,

декомпозиції багаторівневого моделювання, математичних методів порівняння зображень, методів цифрової обробки зображень, теорії ймовірності, математичної статистики, ройових методів, методів кластеризації даних, еволюційних обчислень, математичного апарату теорії матриць, методів диференційного числення, математичного моделювання, цифрової обробки зображень, математичної логіки, методів створення інформаційних технологій, методів теорії оптимізації, аналітичних та емпіричних методів порівняльного дослідження;

– добре співпадіння (довірча ймовірність $\sim 0,9$) теоретичних розрахунків та результатів обробки тонових та кольорових 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. Отримані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути використані:

– в організаціях, що є замовниками науково-технічної продукції та 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.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані 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.

10. Подальші дослідження рекомендовано 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Richards J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Berlin: Springer, 2013. 503 p.
2. Qihao Weng. Remote Sensing and GIS Integration. New York: McGraw-Hill Professional, 2009. 416 p.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. Москва: Техносфера, 2010. 560 с.
4. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Кудря А.И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва: Техносфера, 2019. 482 с.
5. Світова гібридна війна: український фронт: монографія: Горбулін В.П. (ред.). Київ: НІСД, 2017. 496 с.
6. Lindley-French J. NATO and New Ways of Warfare: Defeating Hybrid Threats. Rome: NATO Defense College, 2015. 12 p.
7. Демидов Б.А., Коростелев О.П. Методические основы системных исследований и решения проблем технического оснащения вооруженных сил государства: монография. Кн. 1. Киев: Издательский дом "Стилос", 2016. 655 с.
8. Grometstein A.A. Technology in Support of National Security. Lexington: Lincoln Laboratory Massachusetts Institute of Technology, 2011. 596 p.
9. Stephen M. Dayspring Toward a theory of Hybrid Warfare: the Russian conduct of war during peace. Denver: Regis University, 2015. 222 p.
10. Ким Н.В., Крылов И.Г. Алгоритм управления группой беспилотных летательных аппаратов. *Робототехника и техническая кибернетика*. 2014. № 4. С. 40–43.
11. Демидов Б.А., Коростелев О.П. Методические основы системных исследований и решения проблем технического оснащения вооруженных

сил государства: монография. Кн. 2. Киев: Издательский дом "Стилос", 2016. 640 с.

12. Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В., Колорез Д.А., Сыпало К.И., Красильщиков М.Н. (ред.), Себрякова Г.Г. (ред). Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных аппаратов. Москва: Физматлит, 2009. 432 с.

13. Меньшаков Ю.К. Техническая разведка из космоса. Москва: Academia, 2013. 656 с.

14. Самойленко О.В., Пономаренко С.О., Ладик М.О. Перспективи розвитку наземних комплексів приймання та цифрової обробки матеріалів повітряної розвідки Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2016. Вип. № 12 (19). С. 115–120.

15. Гук А.П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов. *Известия высших учебных заведений*. 2015. № 65. С. 166–169.

16. Кобзева Е.А., Поздина К.А. Автоматизация дешифрирования спутниковых снимков: опыт и проблемы. *Геодезия и картография*. 2008. Т. 6. С. 40–44.

17. Шитова О.В. Комплексное дешифрирование изображений аэрофоторазведки цифровыми методами. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. №. 1. С. 78–82.

18 Карпович И.Н. Военное дешифрирование аэроснимков. Москва: Воениздат, 1990. 544 с.

19. Олизаренко С.А., Лавров О.Ю., Капранов В.А. Методика формирования платформы для моделирования глубокого обучения в интересах разработки систем автоматизированного дешифрирования аэроснимков. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 9 (146). С. 41–43.

20. Мосов С.П. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах. Киев: Изд. дом "Румб", 2008. 248 с.

21. Wang Y.S. A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm. *Journal of Multimedia*. 2014. Vol. 9. № 4. P. 499–505.

22. Zhu S. J.J., Zhao Y., Guo L.J. Rival Penalized Image Segmentation. *Journal of Multimedia*. 2014. Vol. 9. № 5. P. 736–745.

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

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

25. Ganesan P., Rajini V. Color space based edge detection for satellite image segmentation. *Indian Journal of Scientific Research*. 2014. Vol. 2. № 3. P. 18–22.

26. Коваль В.В., Карлов Д.В., Ковальчук А.М., Нечаєв С.В. Погляди щодо застосування космічних інформаційних мереж в системі всебічного забезпечення військ (сил). *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2013. № 1 (10). С. 10–12.

27. Голкін Д.В., Худов Г.В., Присяжний В.І., Варакута В.П., Бутко І.М., Коновалов В.М. Особливості застосування космічних систем спостереження для раннього попередження про повітряний напад. *Системи озброєння і військова техніка*. 2006. № 1 (5). С. 36–40.

28. Худов Г.В. Використання супутникових даних в інтересах ведення контртерористичних операцій на прикладі операції "Geronimo" по знищенню "терориста № 1". *Системи озброєння і військова техніка*. 2011. Вип. 1 (25). С. 183–189.

29. Рубан И.В. Научно-методические основы создания информационной технологии целенаправленного поиска объектов и обработки изображений: дис. ... д-ра техн. наук / Харьковский университет Воздушных сил им. Ивана Кожедуба. Харьков, 2008. 395 с.

30. Бараннік В.В. Теоретичні основи та методи стиску зображень в телекомунікаційних системах на підставі біноміально-поліадичного представлення: дис. ... д-ра техн. наук / Українська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2006. 411 с.

31. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида для автономных систем технического зрения: дис. ... д-ра техн. наук / Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. Харків, 2012. 306 с.

32. Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони. *Наука і оборона*. 2003. № 2. С. 38–50.

33. Ковбасюк С.В., Федорчук Д.Л., Носова Г.Д. Методичні підходи до процесу дешифрування даних дистанційного зондування Землі середньої розрізненості в інтересах національної безпеки й оборони. *Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ*. 2015. Вип. 10. С. 87–94.

34. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Сахацький О.І. Використання космічних знімків NPP/VIIRS у нічний час для оцінки економічної кризи на сході України (Донецька та Луганська області). *Вісник НАН України*. 2017. № 2. С. 48–53.

35. Лаврінчук О.В., Гринюк С.В., Ракушев М.Ю. Аналіз технології дешифрування космічних знімків. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2017. № 3 (30). С. 45–49.

36. Попов М.О., Топольницький М.В., Подліпаєв В.О. Видова космічна розвідка в локальних військових конфліктах. *Наука і оборона*. 2015. № 1. С. 25–35.

37. Ивановский А.А., Моисеев В.Л., Ребрин Ю.К. Справочник по дешифрированию сложных военных объектов. Киев: Киевское высшее военное авиационное инженерное училище, 1989. 170 с.

38. Військова розвідка: Добровольський В.Б. (ред.). Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. 335 с.

39. Олізаренко С.А., Капранов В.А., Сафронов Р.В. Розробка архітектури нечіткої згорточної нейронної мережі для розпізнавання компактних (точкових) об'єктів на цифровому аерофотознімку. *Системи озброєння та військова техніка*. 2016. Вип. 4 (48). С. 38–41.

40. Тимочко А.И., Олизаренко С.А., Лавров О.Ю. Метод дешифрирования аэроснимков на основе признакового пространства. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 1 (126). С. 84–87.

41. Субботин С.А. Синтез нейро-нечетких моделей для выделения и распознавания объектов на сложном фоне по двумерному изображению. *Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць*. 2007. С.68-91.

42. Субботин С. А., Олейник Ан. А., Гофман Е. А., Зайцев С. А., Олейник Ал. А. Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов: монография. Харьков: ООО "Компания Смит", 2012. 317 с.

43. Дудкин А.А., Ваткин М.Е. Нечеткая нейронная сеть для классификации объектов на полутоновых изображениях. *Искусственный интеллект*. 2005. №3. С. 272–281.

44. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. Москва: Аспект-Пресс, 2004. 184 с.

45. Попов М.О., Гринюк С.В., Піонтківський П.М. Стан і перспективи розвитку гіперспектральних систем аерокосмічної розвідки. *Наука і оборона*. 2012. № 2. С. 39–48.

46. Прэйтт У. Цифровая обработка изображений. Москва: Мир, 1982. Кн. 2. 480 с.
47. Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. № 8. P. 679–698.
48. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 336 с.
49. Методы компьютерной обработки изображений: Сойфер В.А. (ред.). Москва: Физматлит, 2003. 784 с.
50. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. 1072 с.
51. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. Москва: Радио и связь, 1987. 296 с.
52. Новейшие методы обработки изображений / [А.А.Потапов, Ю.В.Гуляев, С.А.Никитов, А.А.Пахомов, В.А.Герман] под ред. А.А.Потапова. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 456 с.
53. Beni G., Wang J. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems. *Proc. of NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems. Tuscany. Italy. 26–30 June, 1989*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.users.york.ac.uk/~jo115/paper-reviews/SwarmIntelligenceinCellularRoboticSystems.pdf>. (Дата звернення 05.11.2018).
54. Beni G., Wang J. Swarm Intelligence. *Proc. of the Seventh Annual Meeting of the Robotics Society of Japan*. Tokio: RSJ press, 1989. P. 425–428.
55. Beni G. From Swarm Intelligence to Swarm Robotics. *Swarm Robotics. Lecture Notes in Computer Science*. 2005. Vol. 3342. P. 1–9.
56. Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. *Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1999. 320 p.
57. Kennedy J., Eberhart R., Shi Y. *Swarm Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000. 512 p.

58. Sahin E. Swarm Robotics: From sources of inspiration to domains of application. *Swarm Robotics. Lecture Notes in Computer Science*. 2005. Vol. 3342. P. 10–20.

59. Dorigo M. Optimization, learning and natural algorithms: Ph.D. Thesis / Politecnio de Milano, Italy. Milan, 1992. 25 p.

60. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1996. Part B. № 1(26). P. 29–41.

61. Dorigo M., Stutzle T. Ant Colony Optimization. Cambridge: MIT Press, 2004. 35 p.

62. Dorigo M., Di Caro G., Gambardella L.M. Ant algorithms for distributed discrete optimization. *Artificial Life*. 1999. № 5. P. 137–172.

63. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1997. № 1. P. 53–66.

64. Stutzle T., Hoos H.H. Max-min ant system. *Future Generation Computer Systems*. 2000. № 16. P. 889–914.

65. Gambardella L.M., Taillard E.D., Agazzi G. MACS-VRPTW: a multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows, in: D. Corne, M. Dorigo, F. Glover (Eds.), *New Ideas in Optimization*, London: McGraw-Hill. 1999. P. 63–76.

66. Holldobler B., Wilson E.O. The Ants. Harvard: Harvard University Press, 1990. 732 p.

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

68. Shtovba S. Ant Algorithms: Theory and Applications. *Programming and Computer Software*. 2005. Vol. 31. № 4. P. 167–178.

69. Суботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Ітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія. Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 375 с.

70. Ayman El-Baz, Jiang X., Suru J.S. Biomedical image segmentation: advances and trends. US: CRC Press, 2016. 546 p.

71. Скобцов Ю.А., Эль-Хатиб С.А., Эль-Хатиб А.И. Сегментация изображений методом муравьиных колоний. *Вестник Херсонского Национального Технического Университета*. 2013. № 1 (46). С. 204–211.

72. Эль-Хатиб С.А., Скобцов Ю.А. Компьютерная система сегментации медицинских изображений методом муравьиных колоний. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2015. № 3. С. 49–57.

73. Махно Т.А. Автоматизированная система обработки ультразвуковых изображений сонных артерий на основе эволюционных алгоритмов. *Електротехнічні системи і комп'ютерні системи*. 2015. № 18 (94). С. 92–99.

74. Махно Т.А. Параметризация схем обработки УЗИ сонных артерий при помощи эволюционных алгоритмов. *Інформаційно-управляючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 5 (114). С. 57–60.

75. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 260 с.

76. Курейчик В.М., Кажаров А.А. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2010. № 1. С. 32–45.

77. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений инспирированных природными вычислениями. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 4 (93). С. 16–24.

78. Пантелеев А. В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. Москва: МАИ, 2009. 160 с.

79. Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В., Алешина Е.А. Методы глобальной оптимизации: метаэвристические стратегии и алгоритмы. Москва: Вузовская книга, 2013. 244 с.

80. Попов М.А., Топольницький М.В. Классификация объектов на многоспектральных / гиперспектральных аэрокосмических изображениях на основе теории свидетельств Демпстера-Шейфера. *Математичні машини і системи*. 2014. № 1. С. 58–69.

81. Попов М.О., Станкевич С.А., Топольницький М.В., Седлерова О.В. Підхід до інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних на основі теорії свідчень Демпстера-Шейфера. *Доповіді Національної академії наук України*. 2015. № 4. С. 94–98.

82. Mashtalir S., Mashtalir V. Sequential temporal video segmentation via spatial image partitions. *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP): Proc. of 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP) (Lviv, August, 23–27, 2016)*. Lviv: IEEE, 2016. P. 239–242.

83. Mashtalir S., Mashtalir V., Stolbovyi M. Representative Based Clustering of Long Multivariate Sequences with Different Lengths. *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP): Proc. of 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP) (Lviv, August, 21–25, 2018)*. Lviv: IEEE, 2018. P. 545–548.

84. Машталир С.В. Модели и методы темпоральной обработки видео для информационного поиска: дис. ... д-ра техн. наук / Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2016. 341 с.

85. Putyatin Y.P., Lyashenko V.V., Ahmad M.A., Lyubchenko V.A., Ahmad N.A. A Theoretical Interpretation for the Study of Images Processing. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*. 2015. № 3 (9). P. 17–31.

86. Гороховатський В.О. Структурно-ієрархічні методи аналізу та розпізнавання зображень в умовах впливу просторових завад: дис. ... д-ра техн. наук / Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2010. 337 с.

87. Богучарский С.И. Методы и модели толерантной кластеризации в коллекциях изображений: дис. ... канд. техн. наук / Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків, 2016. 149 с.

88. Маковейчук О.М. Об'єктивна оцінка якості обробки зображень. *Системи озброєння і військова техніка*. 2008. № 3 (15). С. 135–137.

89. Хижняк І.А. Інтегрування мурашиного та ройового методів сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 6 (46). С. 61–64.

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

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

92. 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.

93. 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.

94. 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.

95. 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.

96. 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.

97. 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.

98. 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.

99. 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.

100. 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.

101. 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.

102. 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.

103. 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.

104. 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.

105. 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.

106. 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.

107. 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.

108. 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.

109. Худов В.Г. Научные 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.

110. 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 "ХПІ", НАУ ім. М.Є.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.

111. 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.

112. 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.

113. 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.

114. 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.

115. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Маковейчук О.М., Сердюк О.В. Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим 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.

116. 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.

117. 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.

118. 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.

119. 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.

120. 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.

121. 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.

122. 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: Thesis of 4th International scientific-practical conference* (Kharkiv, October, 10–13, 2017). Kharkiv: IEEE, 2017. P. 137–141.

123. 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: Thesis of 5th International scientific-practical conference* (Kharkiv, October, 9–12, 2018). Kharkiv: IEEE, 2018. P. 613–618.

124. 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.

125. 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.

126. 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.

127. 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.

128. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Соломоненко Ю.С., Маковейчук О.М. Тематичне сегментування оптико-електронного зображення методом ройового інтелекту (штучної бджолиної 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.

129. 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 "ХПІ", ДП "ХНДІ ТМ"; Жиліна: Університет міста Жиліна, 2018. С. 58.

130. Хижняк І.А., Худов В.Г., Худов Р.Г. Інформаційна роїова 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.

131. Методи, системи і засоби криптографічного захисту інформації з гарантованим рівнем стійкості та підвищеною швидкістю: Звіт про НДР (№ ДР 0115U002431) (остаточний). Харків: ХНУРЕ, 2017. 473 с.

132. Створення програмного модуля обробки різнорідних і різночасових даних, отриманих від оптико-електронних засобів безпілотних літальних апаратів та супутникових систем: Звіт про НДР "Мозаїка-ПС" (№ ДР 0101U002020) (проміжний). Харків: ХНУПС, 2016. 190 с.

133. Створення програмного модуля обробки різнорідних і різночасових даних, отриманих від оптико-електронних засобів безпілотних літальних апаратів та супутникових систем: Звіт про НДР "Мозаїка-ПС" (№ ДР 0101U002020) (остаточний). Харків: ХНУПС, 2017. 177 с.

134. Дослідження можливостей прихованої передачі даних в інформаційній телекомунікаційній мережі: Звіт про НДР "Стеганографія" (№ ДР 0101U002484) (остаточний). Харків: ХНУПС, 2018. 125 с.

135. Розробка моделей, механізмів, методів та засобів симетричного шифрування та гешування, методи оцінювання їх стійкості: Звіт про НДР "Стійкість" (№ ДР 0118U003807) (остаточний). Харків: ХНУРЕ, 2018. 129 с.

136. Liang S. Quantitative remote sensing of land surfaces. London: Wiley, 2003. 562p.

137. Космічні системи дистанційного зондування землі подвійного призначення / І.Д. Варламов, В.В. Зуйко, А.М. Козуб, Д.П. Пашков: Навчальний посібник. Київ: Національний університет оборони України, 2015. 204 с.

138. Друки А.А. Алгоритмы нейросетевого детектирования и распознавания символов на сложном фоне: дис. ... канд. техн. наук / Томский политехнический университет. Томск, 2015. 216 с.

139. Лагунов Н.А. Нейросетевое моделирование распознавания многопараметрических объектов: дис. ... канд. техн. наук / Северокавказский федеральный университет. Ставрополь, 2016. 207 с.

140. Нгуен Т.К.Т. Информационная технология локализации текстовых областей на изображениях со сложным фоном: дис. ... канд. техн. наук / Одесский национальный политехнический университет. Одесса, 2015. 202 с.

141. Немков Р.М. Разработка нейросетевых алгоритмов инвариантного распознавания образов: дис. ... канд. техн. наук / Северокавказский федеральный университет. Ставрополь, 2015. 162 с.

142. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение): Писаревский А.Н., Чернявский А.Ф. (ред.). Ленинград: Машиностроение, 1988. 424 с.

143. Мошкин В.И., Петров А.А., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов. Москва: Машиностроение, 1990. 272 с.

144. Колючкин В.Я., Нгуен К.М., Чан Т.Х. Алгоритмы обработки информации в системах технического зрения промышленных роботов. *Труды Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Современные проблемы оптотехники.* 2013. № 610. С.139–150.

145. Нгуен К. М. Методы и алгоритмы обработки изображений в системах технического зрения промышленных робототехнических

комплексов: дис. ... канд. техн. наук / Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана. Москва, 2015. 135 с.

146. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: Учебное пособие. Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2011. 608 с.

147. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

148. Левашкина А.О., Поршнева С.В. Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений. *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов*. 2008. № 3. С. 163–172.

149. Левашкина А.О. Разработка методов поиска изображений на основе вычислительных моделей визуального внимания: дис. ... канд. техн. наук / Уральский государственный технический университет. Екатеринбург, 2009. 163 с.

150. Fu K., Mui J. A survey on image segmentation. *Pattern Recognition*. 1981. № 13. P. 3–16.

151. Робототехника: Фу К., Гонсалес Р., Ли К., Градецкий В.Г. (ред.). Москва: Мир, 1989. 624 с.

152. Pal N., Pal S. A review on image segmentation techniques. *Pattern Recognition*. 1993. Vol. 26. № 9. P. 1277–1294.

153. Skarbek W., Koschan A. Color Image Segmentation – A Survey. *Technischer Bericht, Technical University of Berlin*. 1994 [Electronic resource]. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.12.572&rep=rep1&type=pdf>. (Дата звернення 02.05.2018).

154. Lucchese L., Mitra S. Color Image Segmentation: A State-of-the-Art Survey, Image Processing, Vision, and Pattern Recognition. *Proc. of the Indian National Science Academy (INSA-A)*. 2001. Vol. 67A(2). P. 207–221.

155. Денисов Д.А., Низовкин В.А. Сегментация изображений на ЭВМ. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1985. № 9. С. 5–29.

156. Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий И.Э. Сегментация изображений: методы пороговой обработки. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1987. № 10. С. 6–24.

157. Бакут П.А., Колмогоров Г.С. Сегментация изображений: методы выделения границ областей. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1987. № 10. С. 25-47.

158. Haralick R., Shapiro L. Image segmentation techniques. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. 1985. № 29. P. 100–132.

159. Sahoo P.K. A survey of thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. 1988. № 41. P. 233–260.

160. Spirkovska L. A summary of image segmentation techniques. *NASA technical memorandum 104022, 1993* [Electronic resource]. URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940006802.pdf>. (Дата звернення 03.05.2018).

161. Zhang Y. *Advances in Image And Video Segmentation*. USA: IRM Press, 2006. 457 p.

162. Rosenfeld A. Image pattern recognition. *Proceedings of IEEE*. 1981. № 69 (5). P. 596–605.

163. Macaire L., Ulte V., Postaire J.G. Determination of compatibility coefficients for color edge detection by relaxation. *International Conference on Image Processing*. 1996. P. 1045–1048.

164. Nevatia R. A color edge detector and its use in scene segmentation. *IEEE Transaction On System, Man and Cybernetics*. 1977. Vol. SMC-7. № 11. P. 820–826.

165. Robinson G.S. Color Edge Detection. *Optical Engineering*. 1977. Vol. 16. № 5. P. 479–484.

166. Carron T., Lambert P. Fuzzy Color Edge Extraction by Inference Rules Quantitative Study and Evaluation of Performances. *International Conference in Image Processing*. 1995. № 1. P. 181–184.

167. Ma W.Y., Manjunath B.S. Edge Flow: A Framework of boundary Detection and Image segmentation. *Proceeding Of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), Puerto Rico*. 1997. Vol. 1. P. 755–749.

168. Perez F., Koch C. Toward Color Image Segmentation in Analog VLSI: Algorithm and Hardware. *International Journal of computer vision*. 1994. Vol.12. № 1. P. 17–42.

169. Smith S., Brady J. SUSAN – a new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*. 1995. № 23 (1). P. 45–78.

170. Rothwell C.A., Mundy J.L., Hoffman W., Nguyen V.D. Driving vision by topology. *Proceedings of IEEE International Symposium on Computer Vision (ISCV'95), Coral Gables, Fla, USA*. 1995. P. 395–400.

171. Meer P., Georgescu B. Edge detection with embedded confidence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2001. Vol.23. № 12. P. 1351–1365.

172. Ren X., Malik J. A Probabilistic Multi-scale Model for Contour Completion Based on Image Statistics. *ECCV '02, Copenhagen*. 2002. Vol. 1. P. 312–327.

173. Sumengen B., Manjunath B.S., Kenney C. Image Segmentation using Curve Evolution and Flow Fields. *Proc. IEEE International Conference. Image Processing (ICIP), Rochester, NY, USA*. 2002. Vol.1. P. 105–108.

174. Shapiro G. Color Snakes. *Computer Vision and Image Understanding*. 1997. Vol. 68. № 2. P. 247–253.

175. Behiels G., Maes F., Vandermeulen D. Evaluation of Image features and search strategies for segmentation of bone structures in radiographs using active shape models. *Medical Image Analysis*. 2002. № 6 (1). P. 47–62.

176. Omran M., Salman A., Engelbrecht A. Dynamic clustering using particle swarm optimization with application in image segmentation. *Pattern Analysis and Application*. 2006. № 8. P. 332–334.

177. Махфуд У.А. Комбинированные алгоритмы сегментации цветных изображений: дис. ... канд. тех. наук / Институт технической кибернетики Национальной академии наук Беларуси. Минск, 2002. 128 с.

178. Дорогов А.Ю., Курбанов Р.Г., Разин В.В. Быстрая классификация JPEG-изображений [Electronic resource]. URL: http://company.yandex.ru/grant/2005/03_Dorogov_102608.pdf. (Дата звернення 20.02.2017).

179. Cheng H.D., Li J. Fuzzy Homogeneity and Scale Space Approach to Color Image Segmentation. *International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing, Atlantic City, Feb. 27 – Mar. 3, 2000*. № . P. 37–42.

180. Shi H., Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation. *Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (San Juan, Puerto Rico, 17-19 June)*. 1997. P. 731–737.

181. Comaniciu D., Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2002. № 24. P. 603–619.

182. Felzenswalh P., Huttenlocher D. Efficient Graph-Based Image Segmentation. *International Journal of Computer Vision*. 2004. Vol. 59 (2). P. 167–181.

183. Pelleg D., Moore A. X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters. *Proceeding Of the 17th International Conference on Machine Learning. San Francisco*. 2000. P. 727–734.

184. Knudsen T., Muhammed H., Olsen B. A Comparison of Neuro Fuzzy and Traditional Image Segmentation Methods for Automated Detection of Buildings in Aerial Photos. *Proceedings of Pcv'02: Photogrammetric Computer Vision*. 2002. P. 118–123.

185. Hashemi S.M., Zangian M., Shakeri M., Faridpoor M. Survey Article about Image Fuzzy Processing Algorithms. *Journal of mathematics and computer science*. 2014. № 13. P. 26–40.

186. Kaufman L., Rousseeuw P.J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. USA: John Wiley & Sons, 1990. 342 p.

187. Ester M., Kriegel H.P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceeding of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Portland*. 1996. P. 226–231.

188. Guha S., Rstogi R., Skim K. CURE: An efficient clustering algorithm for large databases. *Proceeding of 1998 ACM-SIGMOD International Conference On Management of Data*. 1998. P. 103–114.

189. Guha S., Rstogi R., Skim K. ROCK: a robust clustering algorithm for categorical attributes. *Proceeding of the 15th International Conference on data Engineering*. 1999. P. 512–521.

190. Karypis G., Han E.H., Kumar V. CHAMELEON: A hierarchical Clustering Algorithm Using Dynamic Modeling. *Proceeding of IEEE Computer*. 1999. P. 88–75.

191. Пащенко Р.Э., Куц В.С., Шаповалов А.В. Локализация областей наблюдения на аэрокосмических изображениях с использованием построчного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработки. *Системи обробки інформації*. 2008. Вип. 3 (70). С. 117–119.

192. Плешанов В.С., Напрюшкин А.А., Кибиткин В.В. Особенности применения теории фракталов в задачах анализа изображений. *Автометрия*. 2010. Т. 46. № 1. С. 86–97.

193. Celenk M. A Color Clustering Technique for image segmentation. *Graphical Models and Image Processing*. 1990. Vol. 52. № 3. P. 145–170.

194. Tremeau A., Borel N. A region Growing and merging algorithm to color segmentation. *Pattern Recognition*. 1997. Vol. 30. № 7. P. 1191–1203.

195. Panjwani D.K., Healey G. Markov Random Field Models for Unsupervised Segmentation of textured color images. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1995. Vol. PAMI-17. № 10. P. 939–954.

196. Barny M., Rossi S., Mecocci A. A fuzzy expert system for low level image segmentation. *Proceeding of the 8th European signal processing conference (EUSOPCO-96)*. 1996. Vol.3. P. 1725–1728.

197. Yu S. Segmentation induced by scale invariance. *Proceeding of International conference on computer vision and pattern recognition*. 2005. [Electronic resource]. URL: <http://www1.icsi.berkeley.edu/~stellayu/publication/doc/2005segCVPR.pdf>. (Дата звернення 20.10.2018).

198. Gevers T., Munoz A. Combining region splitting and edge detection through guided Delaunay image subdivision. *Proceeding of International Conference on computer vision and pattern recognition*. 1997. P. 2.

199. Freixenet J., Muñoz X., Raba D., Martí J., Cufí X. Yet Another Survey on Image Segmentation: Region and Boundary Information Integration. *ECCV*. 2002. № 3. P. 408–422.

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

201. Білінський Й.Й., Ратушний П.М. Метод виділення контуру на слабоконтрастних розмитих зображеннях. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 3. С. 164–169.

202. Марчуков В.С. Теория и методы тематической обработки аэрокосмических изображений на основе многоуровневой сегментации: дис. ... д-ра техн. наук / Московский государственный университет геодезии и картографии. Москва, 2011. 234 с.

203. Рылов С.А. Методы и алгоритмы сегментации мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения: дис. ... канд. техн. наук / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской Академии наук. Новосибирск, 2016. 135 с.

204. Юдаков А.А. Алгоритмы сегментации объектов земной поверхности по данным гиперспектральной съемки: дис. ... канд. техн. наук / Рязанский государственный радиотехнический университет. Рязань, 2013. 147 с.

205. Эль-Хатиб Самер А.И. Разработка и исследование методов сегментации изображений с применением бионических моделей: дис. ... канд. техн. наук / Южный федеральный университет. Таганрог, 2017. 178 с.

206. Соколова Ю.С. Методы и алгоритмы анализа данных на основе инструментария интеллектуальной обработки информации и биоинспирированного моделирования: дис. ... канд. техн. наук / Рязанский государственный радиотехнический университет. Рязань, 2018. 294 с.

207. Коваленко Т.В. Метод та інформаційна технологія сегментації текстурних областей зображень в системах повітряного моніторингу: дис. ... канд. техн. наук / Державний університет телекомунікацій. Київ, 2018. 181 с.

208. OpenCV library [Electronic resource]. URL: <https://opencv.org>. (Дата звернення 20.10.2018).

209. Передовые технологии в обработке ДДЗ [Electronic resource]. URL: <http://www.mapinfo.ru/product/erdas>. (Дата звернення 20.10.2018).

210. Пакет ArcView. Система ArcInfo [Electronic resource]. URL: http://geoknigi.com/book_view.php?id=629. (Дата звернення 20.10.2018).

211. Scanex – лидер в сфере спутникового мониторинга [Electronic resource]. URL: <http://scanex.ru>. (Дата звернення 20.10.2018).

212. TNTmips [Electronic resource]. URL: <http://www.microimages.com/products/tntmips.htm>. (Дата звернення 20.10.2018).

213. Пантелеев А.В. Применение эволюционных методов глобальной оптимизации в задачах оптимального управления детерминированными системами. Москва: МАИ, 2013. 159 с.

214. Матренин П.В., Секаев В.Г. Системное описание алгоритмов роевого интеллекта. *Программная инженерия*. 2013. № 12. С. 39–45.

215. Матренин П. В. Описание и реализация алгоритмов роевого интеллекта с использованием системного подхода / П. В. Матренин // [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/281065343_Opisanie_i_realizacia_algoritmov_roeвого_intellekta_s_ispolzovan_iem_sistemnogo_podhoda. (Дата звернення 21.11.2018).

216. Papadimitriou C.H., Steiglitz K. Combinatorial Optimization. Algorithms and Complexity. New York: Dover Publications, 1998. 528 p.

217. Щербина О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор). *Таврійський вісник інформатики та математики*. 2014. № 1 (24). С. 56–72.

218. Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & Operations Research*. 1986. № 131. P. 533–549.

219. Glover F., Kochenberger G. Handbook of Metaheuristics. Norwell: Kluwer Academic Publisher, 2002. 647 p.

220. Сергеева О.П. Применение генетических алгоритмов для распознавания изображений. *Искусственный интеллект*. 2002. № 4. С. 516–520.

221. Ramos J.C., Muge F. Image Color Segmentation by Genetic Algorithms. *Proc. of the 11th Portuguese Conf. on Pattern Recognition*. 2000. Vol. 1. P. 101–107.

222. Sun G., Zhang A. A Hybrid Genetic Algorithm and Gravitational Search Algorithm for Image Segmentation Using Multilevel Thresholding. *Pattern Recognition and Image Analysis : 6th Iberian Conference, IbPRIA 2013, June 5-7, 2013* : thesis. Funchal, Madeira, Portugal, 2013. P. 707–714.

223. Singh V., Garg P. Adaptive Image Segmentation Using a Genetic Algorithm. *International Journal of Software and Web Sciences (IJSWS)*, 2014. P. 82–87. [Electronic resource]. URL: <http://iasir.net/IJSWSpapers/IJSWS14-153.pdf>. (Дата звернення 01.10.2018).

224. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 – International Conference on Neural Networks: In Proceeding of*

IEEE International Conference on Neural Networks, 27 Nov. – 1 Dec., 1995: thesis of reports. IEEE Service Center. Perth, 1995. P. 1942–1948.

225. Пантелеев А.В., Алешина Е.В. Применение метода частиц в стае к задаче поиска оптимального управления непрерывными детерминированными системами. *Научный вестник МГТУ ГА.* 2010. № 157. С. 26–33.

226. Karaboga D., Akay B. A Survey: Algorithms Simulating Bee Swarm Intelligence. *Artificial Intelligence Review.* 2009. № 31 (1). P. 68–85.

227. Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C., Karaboga N. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. *Artificial Intelligence Review.* 2014. № 42 (1). P. 21–57.

228. Akay B., Karaboga D. A survey on the applications of artificial bee colony in signal, image, and video processing. *Signal Image and Video Processing.* 2015. Vol. 9. P. 967–990.

229. Bansal J. C., Sharma H., Jadon S.S. Artificial bee colony algorithm: a survey. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms.* 2013. № 5 (1/2). P. 123–159.

230. Bolaji A. L. Khader A. T., Al-Betar M. A., Awadallah M. A. Artificial bee colony algorithm, its variants and applications: a survey. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology.* 2013. № 47 (2). P. 434–459.

231. Balasubramani K., Marcus K. A comprehensive review of artificial bee colony algorithm. *International Journal of Computers & Technology.* 2013. № 5 (1). P. 15–28.

232. Kumar B., Kumar D. A review on artificial bee colony algorithm. *International Journal of Engineering and Technology.* 2013. № 2 (3). P. 175–186.

233. Kumar B., Kumar D., Jarial S.K. A Review on Artificial Bee Colony Algorithms and Their Applications to Data Clustering. *Cybernetics and Information Technologies.* 2017. № 17 (3). P. 3–28.

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

235. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех). Москва: Сов.радио, 1977. 368 с.

236. Павлий В.А., Соломоненко Ю.С., Худов Г.В. Модель формирования изображения в космических системах оптико-электронного наблюдения. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. № 1 (18). С. 126–129.

237. WorldView-1 Satellite Sensor [Electronic resource]. URL: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-1>. (Дата звернення 19.09.2017).

238. Геопорталы и ГИС приложения. Галерея данных ДЗЗ. Спутник WorldView-1 [Electronic resource]. URL: <https://www.worldview.ru/worldview1.html>. (Дата звернення 19.09.2017).

239. Ikonos Satellite Image Gallery [Electronic resource]. URL: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos>. (Дата звернення 09.09.2015).

240. WorldView-3 Satellite Sensor [Electronic resource]. URL: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-3/> (Дата звернення 23.09.2017).

241. [Electronic resource]. URL: http://tvis.com.ua/media/zoo/images/WorldView3_30cm_Boryspil2_52d19f0f28cee8861389408dae97c9e1.jpg (Дата звернення 10.10.2018).

242. Друки А.А., Спицын В.Г., Болотова Ю.А., Башлыков А.А. Семантическая сегментация данных дистанционного зондирования Земли при помощи нейросетевых алгоритмов. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329. № 1. С. 58–69.

243. Жизняков А.Л., Садыков С.С. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 121 с.

244. Жизняков А.Л. Теория и методы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений в промышленных системах контроля качества: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / Владимирский государственный университет. Владимир, 2008. 35 с.

245. Дэвид М.А., Клемент М.Г. Методология структурного анализа и проектирования SADT. Москва: Мир, 1993. 240 с.

246. Тарасов А.Д., Краснянский А.С. Применение графического процессора TEGRA K1 в задачах обработки изображений на борту БЛА. *Вестник ЮУрГУ. Серия "Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника"*. 2017. Т. 17. № 3. С. 166–169.

247. Мальцев С.В., Філозов Р.С., Цуп Ю.В., Писаренко Р.В., Подліпаєв В.О. Рішення на базі платформи ArcGIS. Військове застосування. Приклади. Drone2Map багатофункціональний комплекс обробки даних БПЛА. FMV – рішення по застосуванню. Демонстрація прототипу військового порталу. *Застосування космічних та геоінформаційних систем в інтересах національної безпеки та оборони: Тези допов. VIII Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 07 квітня 2016)*. Київ: інститут інформаційних технологій НУОУ, 2016. С. 39–41.

248. Подліпаєв В.О., Шумейко В.О., Атрасевич О.В., Хижняк І. А. Створення мобільної автоматизованої системи збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу для вирішення завдань національної оборони. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 1 (53). С. 27–31.

249. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ. *Труды НИИСИ РАН*. 2012. Том 2. № 1. С. 4–13.

250. Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. Критерии оценки качества сегментации изображений. *Труды НИИСИ РАН*. 2012. Том 2. № 2. С. 87–99.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

А.1 Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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. Р. 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.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. 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 "ХПІ", НАУ ім. М.Є.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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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).

14. 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).

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. Рубан І.В., Худов В.Г., Хижняк І.А., Соломоненко Ю.С., Маковейчук О.М. Тематичне сегментування оптико-електронного зображення методом ройового інтелекту (штучної бджолиної 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.

20. 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 "ХПІ", ДП "ХНДІ ТМ"; Жиліна: Університет міста Жиліна, 2018. С. 58.

21. 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.

А.2 Відомості про апробацію результатів дисертації

Апробація результатів дисертації була проведена на:

– 1 міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі "ПНПЗК-2016" 30 березня – 1 квітня 2016 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– 13 науковій конференції "Новітні технології – для захисту повітряного простору" 12-13 квітня 2017 року в Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, участь з доповіддю;

– 14 науковій конференції "Новітні технології – для захисту повітряного простору" 11-12 квітня 2018 року в Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,

м. Харків, участь з доповіддю;

– 7 міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" 20-21 квітня 2017 року в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, участь з доповіддю;

– міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ" 11-12 травня 2017 року в Національній академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, участь з доповіддю;

– міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ" 17-18 травня 2018 року в Національній академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, участь з доповіддю;

– VIII міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій" 21-23 вересня 2016 року в Запорізькому національному технічному університеті, м. Запоріжжя, участь з доповіддю;

– 4 Всеукраїнській науково-практичній конференції "Спільні дії військових формувань та правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи" 7-8 вересня 2017 року в Військовій академії, м. Одеса, доповідь та її тези подано дистанційно;

– III Всеукраїнській науково-технічній конференції "Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування" 8-9 червня 2017 року в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, участь з доповіддю;

– XXXIV Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку" 20 червня 2017 року в Переяслав-Хмельницькому державному педагогічному університеті імені Григорія Сковороди, м. Переяслав-Хмельницький, доповідь та її тези подано дистанційно;

– 6 міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні системи і технології ICT-2017, присвяченій 80-річчю В.В.Свіридова" 11-16 вересня 2017 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, м. Коблево, участь з доповіддю;

– науково-практичній конференції "Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи" 4 жовтня 2017 року в Національному центрі управління та випробувань космічних засобів, м. Київ, участь з доповіддю;

– 4 міжнародній науково-практичній конференції "Problems of infocommunications science and technology" 10-13 жовтня 2017 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– 5 міжнародній науково-практичній конференції "Problems of infocommunications science and technology" 9-12 жовтня 2018 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– V міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки" 11-12 жовтня 2017 року в Центральному науково-дослідному інституті озброєння і військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, доповідь та її тези подано дистанційно;

– X Всеукраїнській науково-практичній конференції "Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України" 2 листопада 2017 року в Національній академії державної прикордонної служби України, м. Хмельницький, участь з доповіддю;

– 5 міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми інформатизації" 13-15 листопада 2017 року в Черкаському державному технологічному університеті, м. Черкаси, доповідь та її тези подано дистанційно;

– науково-практичній конференції "Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах" 16 листопада 2017 року в Національній академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, участь з доповіддю;

– XXII Всеукраїнській науково-практичній конференції "Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції" 26-27 квітня 2018 року в Житомирському військовому інституті імені С.П.Корольова, м. Житомир, участь з доповіддю;

– 8 Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" 26-27 квітня 2018 року в Полтавському національному технічному університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, доповідь та її тези подано дистанційно;

– міжнародній науково-практичній конференції "The development of technical sciences: problems and solutions" 27-28 квітня 2018 року в Причорноморському науково-дослідному інституті економіки та інновацій, м. Брно, доповідь та її тези подано дистанційно.

ДОДАТОК Б**Акти про реалізацію і впровадження результатів дисертаційної роботи**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Національного центру управління
та випробувань космічних засобів
канд. техн. наук, старш. наук. співр.

В.І. ПРИСЯЖНИЙ



2018 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта Харківського національного університету радіоелектроніки
Худова Владислава Геннадійовича

Комісія Національного центру управління та випробувань космічних засобів у складі: голови комісії - начальника відділу інформаційно-аналітичного, канд. техн. наук ЯНЧЕВСЬКОГО С.Л. та членів комісії, заступника начальника відділу науково-дослідної та випробувальної роботи канд. техн. наук МАМАРЄВА В.М.; начальника групи аналітичної МОРОЗА В.С.; начальника групи даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем СЛАСТИНА С.О., у період з 28 по 31 травня 2018 року розглянула основні результати дисертаційного дослідження, отримані особисто Худовим В.Г., а саме:

– удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування багатомасштабної послідовності тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– інформаційна технологія тематичного сегментування тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

На підставі розгляду представлених матеріалів комісія встановила та цим актом засвідчує, що впровадження отриманих Худовим Владиславом Геннадійовичем наукових результатів забезпечує підвищення ефективності тематичного сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, зокрема досягається:

– зниження помилки сегментування першого та другого роду на величину від 7% до 18%;

– підвищення інформативності вихідного сегментованого зображення в умовах впливу різнорідних спотворюючих факторів на величину від 5% до 15%.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є підставою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії:



С.Л. ЯНЧЕВСЬКИЙ

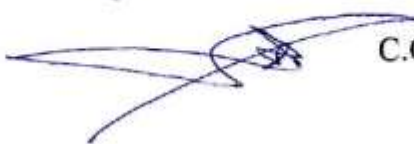
Члени комісії:



В.М. МАМАРЄВ



В.С. МОРОЗ



С.О. СЛАСТІН

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Державної екологічної академії
підвищення освіти та управління
доктор технічних наук, професор

О.А. Машков

2018 року



Акт

щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта Харківського національного університету радіоелектроніки
Худова Владислава Геннадійовича

Комісія у складі: голови комісії – директор Навчально-наукового інституту екологічної безпеки та управління доктор геологічних наук, доцент Улицький О.А. та члени комісії: завідувач кафедри екологічного моніторингу геоінформаційних та аерокосмічних технологій, доктор технічних наук, професор Пашков Д.П. та професор кафедри екологічного моніторингу геоінформаційних та аерокосмічних технологій доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Ващенко В.М., розглянувши основні результати дисертаційного дослідження Худова В.Г., що викладені в наукових роботах:

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

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

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

а саме:

– удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування багатомасштабної послідовності тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– інформаційна технологія тематичного сегментування тонових та кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження,

склала цей акт про впровадження вказаних результатів в науково-дослідній роботі «Створення карт лісових масивів з використанням даних з супутника «Січ-2» на прикладі Рівненської області» (шифр «GEO-Ukraine-Ліс»), яка виконана в рамках Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013-2017 роки, Затвердженої Законом України від 05 вересня 2013 року № 439-VII. В ході проведення наукових досліджень були відпрацьовані сучасні підходи до обробки космічних знімків в інтересах реалізації екологічного моніторингу.

У результаті впровадження наукових результатів, отриманих Худовим В.Г., вдалося підвищити ефективність тематичного сегментування космічних знімків, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження (знижені помилки сегментування першого та другого роду на величину до 20 %, підвищена інформативність вихідного сегментованого зображення в умовах впливу різномірних спотворюючих факторів на величину до 16 %).

Економічний ефект від впровадження не розраховувався, у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії:

доктор геологічних наук, доцент



О.А. Улицький

Члени комісії:

доктор технічних наук, професор



Д.П. Пашков

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



В.М. Ващенко

ЗАТВЕРДЖУЮ



І.А.КУХАРСЬКИЙ

Акт

про реалізацію результатів дисертаційного дослідження
аспіранта Харківського національного університету радіоелектроніки
Худова Владислава Геннадійовича

Комісія у складі: голови комісії – заступника начальника управління, кандидата технічних наук Подліпаєва В.О., та членів комісії: начальника відділу Мартинюка С.В., старшого офіцера, кандидата технічних наук Шумейка В.О., констатує, що основні результати дисертаційного дослідження Худова В.Г., що викладені в наукових роботах:

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

2. 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.

3. 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.

4. 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,

а саме:

удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

удосконалений еволюційний метод тематичного сегментування багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

інформаційна технологія тематичного сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, реалізовані у спеціалізованому програмно-апаратному комплексі обробки інформації у вигляді алгоритмів і програм робочого місця інтерпретатора-дешифрувальника.

У результаті реалізації наукових результатів, отриманих Худовим В.Г., вдалося підвищити ефективність сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, а саме:

знизити помилки сегментування першого та другого роду та підвищити інформативність вихідного сегментованого зображення в умовах впливу різномірних спотворюючих факторів на величину від 6% до 17%.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії:

Члени комісії:



В.О.ПОДЛІПАЄВ

С.В.МАРТИНЮК

В.О.ШУМЕЙКО

Прим. ____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор ТОВ НВФ
«Адрон»

кандидат технічних наук, доцент



М.І. Архипов

Акт

щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта Харківського національного університету радіоелектроніки
Худова Владислава Геннадійовича

Комісія у складі: голови комісії – технічного директора головного конструктора Туренко С.М., кандидата технічних наук, доцента та членів комісії: начальника конструкторського відділу Хижняка В.М., кандидата технічних наук, доцента, начальника науково-дослідного відділу Кравчука І.С., кандидата технічних наук, доцента, розглянула основні результати дисертаційного дослідження Худова В.Г., які викладені у наукових статтях:

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

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

а саме:

– метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– метод сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень,

склала цей акт про впровадження вказаного результату на підприємстві при обґрунтуванні технічних характеристик перспективних систем озброєння, а саме:

систем обробки оптико-електронних зображень в оптико-електронних станціях бортових комплексів оборони літальних апаратів;

оптико-електронного каналу системи керування блоку аеродинамічного керування "Адрос" БАУ-01КТ.

У результаті впровадження наукових результатів, отриманих Худовим В.Г., вдалося підвищити ефективність сегментування оптико-електронних зображень.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії



С.М. Туренко

Члени комісії:



В.М. Хижняк



І.С. Кравчук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Командир військової частини А2183
полковник

А.С. МОГІЛАТЕНКО

« 27 »

12

2017 року

**А К Т**

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ХУДОВА Владислава Геннадійовича

Комісія у складі:

Голова комісії – заступник командира військової частини А2183
полковник Каратай К.І.

Члени комісії:

– заступник командира військової частини А2183 з озброєння
підполковник Жданов В.В.;

- старший помічник начальника оперативного відділення військової
частини А2183 майор Шайлич А.О.

розглянула використання наукових результатів дисертаційної роботи
ХУДОВА Владислава Геннадійовича в ході дослідницьких навчань.

Комісія встановила:

в ході дослідницьких навчань були використані наукові результати
дисертаційної роботи ХУДОВА Владислава Геннадійовича – розроблена
автором інформаційна технологія сегментування складноструктурованих
зображень, що отримані з бортових систем спостереження, в інтересах
охорони і оборони позиції підрозділів.

Інформаційна технологія дозволяє підвищити ефективність охорони і оборони позицій підрозділів за рахунок підвищення ефективності та оперативності дешифрування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії:

заступник командира військової частини А2183

полковник



К.І.КАРАТАЙ

Члени комісії:

заступник командира військової частини А2183 з озброєння

підполковник



В.В.ЖДАНОВ

старший помічник начальника оперативного відділення

військової частини А2183

майор



А.О.ШАЙДИЧ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Командир військової частини А4465

полковник

О.Ю.ДЯКІВ

« 29 » 2018 року

**А К Т**

про впровадження результатів дисертаційної роботи

ХУДОВА Владислава Геннадійовича

Комісія у складі:

Голова комісії – начальник штабу – перший заступник командира військової частини А4465 полковник Крамаренко А.В.

Члени комісії:

– начальник зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів військової частини А4465 підполковник Скалов В.Ю.;

- командир батальйону зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів військової частини А4465 підполковник Рак К.В.

розглянула використання наукових результатів, отриманих при проведенні дисертаційних досліджень Худова Владислава Геннадійовича, в ході проведення дослідних навчань.

Комісія встановила:

в ході проведення дослідних навчань були використані наукові результати наукових досліджень Худова Владислава Геннадійовича – розроблений автором метод сегментування багатомасштабної послідовності складноструктурованих зображень, що отримані з борту літального апарату оптико-електронного спостереження.

Метод дозволяє підвищити ефективність дешифрування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження, в інтересах підвищення ефективності охорони і оборони позиції підрозділів військових частин.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії:

начальник штабу – перший заступник

командира військової частини А4465

полковник



Крамаренко А.В.

Члени комісії:

начальник зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів

військової частини А4465

підполковник



Скалов В.Ю.

командир батальйону зв'язку та радіотехнічного

забезпечення польотів військової частини А4465

підполковник



Рак К.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного підприємства

"Центральне конструкторське бюро "Протон"

кандидат технічних наук



"28"

О.І. Вотяков
2017 р.

Акт

щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта Харківського національного університету радіоелектроніки
Худова Владислава Геннадійовича

Комісія у складі: голови – головного інженера-головного конструктора ДП "ЦКБ "Протон" к.т.н. Білокурова О.О., членів комісії: ГНС ДП "ЦКБ "Протон" к.т.н. Голобородько Ю.М., начальника науково-дослідного відділу ДП "ЦКБ "Протон" Смілика В.І., начальника науково-дослідної лабораторії ДП "ЦКБ "Протон" Веселовського Ю.А. склала дійсний акт в тому, що при вдосконаленні системи розпізнавання класів радіосигналів Пристрою радіомоніторингу КХ діапазону "Сектор" використані наступні результати дисертаційних досліджень Худова В.Г., а саме:

- удосконалений еволюційний метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень в бортових системах оптико-електронного спостереження, у якому, на відміну від відомих, розраховується зображення-фільтр, де яскравість кожного пікселя визначає міру інформативності вихідного зображення.

У результаті впровадження наукових результатів, отриманих Худовим В.Г., вдалося підвищити якість вирішення задачі розпізнавання класів радіосигналів при використанні запропонованого методу при спектральному аналізі.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

ГОЛОВА КОМІСІЇ:

Головний інженер-головний конструктор

к.т.н.

О.О. Білокуров

ЧЛЕНИ КОМІСІЇ:

ГНС к.т.н.

Ю.М. Голобородько

Начальник НДВ

В.І. Смілик

Начальник НДІ

Ю.В. Веселовський

ДОДАТОК В

Сутність деяких відомих методів сегментування оптико-електронного зображення

В.1 Методи нарощування (розростання) областей

При сегментуванні методом нарощування (розростання) областей виділяються однорідні області. Методи передбачають вибір стартового пікселя і перевірку близькості значень суміжних з ним пікселів.

Якщо значення яскравості поточного і суміжного з ним пікселів okazуються близькими, то їх зараховують до однієї області. Таким чином, область формується в результаті зрощування окремих пікселів [155]–[159].

Нехай $F(R)$ – задана міра однорідності області R . Якщо $R_{12}=R_1 \cap R_2$, то критерій однорідності можна задати, зажадавши, щоб виконувалася умова:

$$F(R_{12}) \leq \varepsilon, \quad (B.1)$$

де ε – заданий поріг.

При обробці багатоспектральних даних дистанційного зондування як $F(R)$ вибирають відстань між пікселями в просторі яскравості спектральних каналів по метриці Евкліда:

$$F(R) = \sqrt{\sum_{i,j \in R} (f_{1ij} - \mu_1)^2 + \sum_{i,j \in R} (f_{2ij} - \mu_2)^2 + \sum_{i,j \in R} (f_{3ij} - \mu_3)^2 + \dots}, \quad (B.2)$$

де f_{1ij} – яскравість (i, j) -го пікселя в першому каналі;

f_{2ij} – яскравість (i, j) -го пікселя в другому каналі і т.п.;

μ_1 – середня яскравість області в першому каналі;

μ_2 – середня яскравість області в другому каналі і т.п.

Найбільш простий критерій ґрунтується на оцінці максимальної різниці значення яскравості окремого пікселя і середньої яскравості сформованої області:

$$\forall \rho \in S; \left| I(\rho) - \frac{1}{N} \sum_{q \in S} I(q) \right| < \delta. \quad (B.3)$$

До області зображення можна застосовувати операції, призначені для виділення нових фрагментів, які мають специфічні властивості. На виділеному фрагменті (який може складатися з областей, ліній або контурів) можна відстежити границю або край і отримати зображення цих границь або країв, тобто нові фрагменти, які мають властивості зв'язності. Відповідним маркуванням можна виділити (перелічити) кожен фрагмент, або привласнити йому свій код, привласнюючи кожній компоненті фрагмента позитивне число так, щоб клітини однієї зв'язкової компоненти отримали одне й те саме число [155]–[159].

В.2 Метод водорозділу

При побудові мінімального розрізу спеціального зваженого графа $G=(V, E)$ пікселі зображення відповідають вершинам V , а геометрична, яскравісна і текстурна близькість між двома пікселями i, j відповідає вазі ребра S_{ij} . Тоді завдання сегментування на дві області можна сформулювати як задачу розбиття множини вершин графа на дві частини [155]–[159].

Розріз графа – це лінія, що ділить граф на дві незв'язані частини, тобто множина ребер, видалення яких ділить граф на два ізольованих підграфа, один з яких, зокрема, може бути окремим вузлом (рис.В.1).

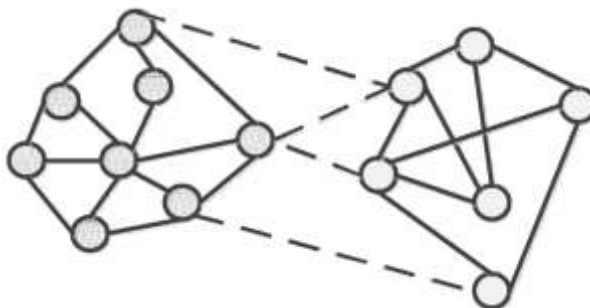


Рисунок В.1 – Сегментування за допомогою мінімального розрізу графу

Розріз графа в задачах про потік – така пара множин вершин (S, T) , що:

$$S \cup T = V, S \cap T = \emptyset, s \in S, t \in T, \quad (B.4)$$

де V – множина вершин графу;

s – витік;

t – стік.

Величиною розрізу називається сума пропускної спроможності таких ребер (i, j) , що $i \in S, j \in T$, $\text{cut}(A, \bar{A}) = \sum_{i \in A, j \in \bar{A}} S_{ij}$.

Кінцевою метою завдання сегментування є розбиття зображення на області. Поняття вододілу засноване на представленні зображення як тривимірної поверхні, заданої двома просторовими координатами і рівнем яскравості в якості висоти поверхні (рельєфу). У такій інтерпретації розглядаються точки трьох видів:

- точки локального мінімуму;
- точки, що знаходяться на схилі, тобто з яких вода скочується в один і той же локальний мінімум;
- точки, що знаходяться на гребні, тобто з яких вода з однаковою

ймовірністю скочується в більш ніж один локальний мінімум.

Множина точок, що задовольняють умові (В.1) називають водозбірними басейнами локального мінімуму. Множина точок, що задовольняють умові (В.3) називають лініями вододілу. Припустимо, що в кожному локальному мінімумі проколоте отвір, після чого весь рельєф заповнюється водою, рівномірно надходить знизу через ці отвори, так що рівень води усюди однаковий. Коли піднімається вода в двох сусідніх басейнах близька до того, щоб злитися разом, в цьому місці ставиться перегородка, що перешкоджає злиттю. Зрештою, досягається фаза, коли над водою залишаються видно тільки верхівки перегородок. Ці перегородки, відповідні лініям вододілу, і утворюють безперервність границь, виділених за допомогою методу сегментування по вододілах [155].

Нехай S – деяка підмножина елементів зображення. Два його елемента, p і q називаються зв'язаними в S , якщо між ними існує шлях, який цілком складається з елементів підмножини S . Для будь-якого елемента p з S множина усіх пікселів, зв'язаних з ним в S , називається компонентою зв'язності (зв'язковою компонентою). M_1, M_2, \dots, M_R – множині точок координатної площини, відповідних локальних мінімумів поверхні $g(x,y)$ (градієнт зображення). Позначимо через $C(M_i)$ множина точок басейну, яка відповідає локальному мінімуму M_i ; \min і \max – найменше та найбільше значення зображення $g(x, y)$. Запис $T[n]$ означає множина точок (s, t) , для яких $g(s, t) < n$. З геометричної точки зору, $T[n]$ є множина точок, в яких поверхня $g(s, t)$ лежить нижче площини $g(x, y) = n$. $T[n]$ означає множина точок (s, t) , для яких $g(s, t) < n$, тобто

$$T[n] = \{(s, t) | g(s, t) < n\}, \quad (\text{В.5})$$

де $T[n]$ – множина точок, в яких поверхня $g(x, y)$ лежить нижче $g(x, y) = n$.

При заповненні рельєфу водою рівень піднімається у вигляді

цілочисельних збільшень від $n=\min+1$ до $n=\max+1$. В процесі підйому води на будь-якому етапі n алгоритму необхідно знати число точок, що лежать нижче рівня води. Нехай всі крапки безлічі $T[n]$ відзначені чорним кольором, а решта – білим. Тоді при довільному кроці підйому рівня води, що розглядається тривимірна поверхня в проекції на площину X/Y може бути представлена двійковим зображенням [94], [155]–[159].

Нехай $C_n(M_i)$ позначає множина точок басейну з локальним мінімум M_i , які виявилися залиті на кроці n . Тоді $C_n(M_i)$ можна розглядати як двійкове зображення, що задається співвідношенням:

$$C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n]. \quad (B.6)$$

При цьому $C_n(M_i) = 1$ в тих точках, (x, y) , для яких одночасно виконується $(x, y) \in C(M_i)$ та $(x, y) \in T[n]$. В решті точок зображення $C_n(M_i) = 0$. Якщо $C[n]$ – об'єднання залитих водою частин всіх басейнів

на кроці n $C[n] = \bigcup_{i=1}^R C_n(M_i)$, то $C[\max+1]$ – об'єднання всіх існуючих

басейнів $C[\max+1] = \bigcup_{i=1}^R C(M_i)$.

При роботі алгоритму ніколи не відбувається видалення елементів з множин $C_n(M_i)$ і $T[n]$. Таким чином, при збільшенні n число елементів цих множин або зростає, або залишається незмінним. Отже, $C[n-1]$ є підмножиною $C[n]$, $C[n]$ є підмножиною $T[n]$, а значить і $C[n-1]$ також є підмножина $T[n]$. Звідси випливає, що кожна компонента зв'язності безлічі $C[n-1]$ міститься рівно в одній зв'язковій компоненті множини $T[n]$.

Алгоритм знаходження ліній вододілу починається з ініціалізації $C[\min+1] = T[\min+1]$. Після цього алгоритм виконується рекурентно, припускаючи на n -му кроці множину $C[n-1]$ вже побудованою. Для отримання множини $C[n]$ з множини $C[n-1]$ з наведеною нижче

процедурою.

Нехай $Q[n]$ – множина компонент зв'язності множини $T[n]$. Тоді для кожної зв'язкової компоненти $q \in Q[n]$ є три можливості:

$$q \cap C[n-1] \text{ – пуста множина;} \quad (B.7)$$

$$q \cap C[n-1] \text{ – вміщає єдину компоненту множини } C[n-1]; \quad (B.8)$$

$$q \cap C[n-1] \text{ – вміщає більше одної компоненти множини } C[n-1]. \quad (B.9)$$

Спосіб побудови $C[n]$ по $C[n-1]$ залежить від того, яке цих з трьох умов було виконано. Умова (B.7) означає, що зустрівся новий локальний мінімум (починається наповнення нового басейну); в цьому випадку для побудови множини $C[n]$ компонента q додається до $C[n-1]$.

Умова (B.8) має місце, коли q лежить всередині басейну деякого локального мінімуму; в цьому випадку для побудови множини $C[n]$ компонента q також додається до $C[n-1]$.

Умова (B.9) виникає, коли зустрілися точки гребеня, що розділяє два або більше басейну. Подальший підйом води призводить до злиття басейнів, тому всередині компоненти q повинна бути побудована перегородка, що не дозволяє басейнам злитися разом (рис. B.2).

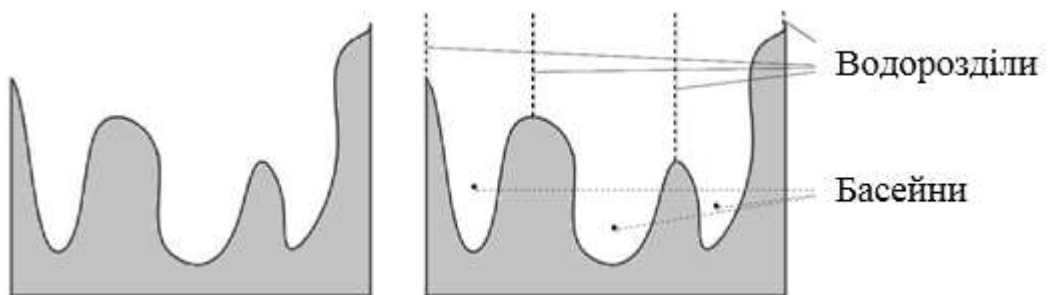


Рисунок B.2 – Профіль інтенсивності яскравості зображення

Перегородка товщиною в один піксель будується, застосовуючи до множини $q \cap C[n-1]$ операцію дилатації по примітиву 3×3 , заповнену одиницями, і далі обмежуючи результат дилатації точками множини q . Після завершення роботи методу дані перегородки утворюють лінії водорозділу [94], [155]–[159].

Пікселі зображення градієнта з великими значеннями розташовуються поблизу границь об'єктів, а іншим ділянкам відповідають нульові значення пікселів. В ідеалі, виконуючи перетворення водорозділу, можна отримати лінії вододілів уздовж границь об'єктів. Область водорозділу (басейн) – область в якій потік з усіх точки "стікає" до однієї спільної точки Алгоритм "занурення" починається з самих "глибоких" пікселів, які визначають початкові басейни (рис. В.3).

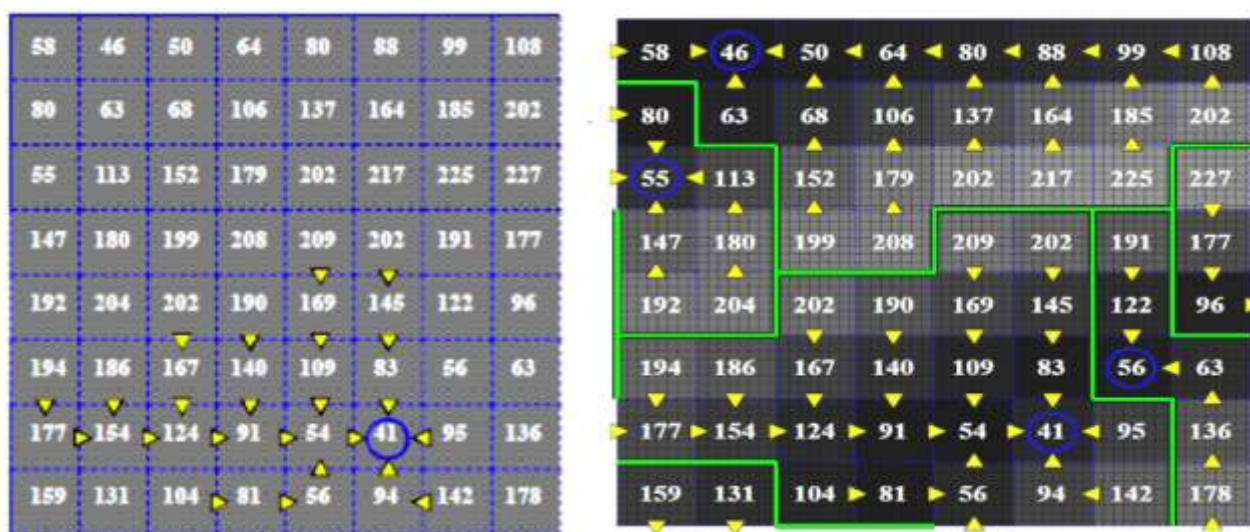


Рисунок В.3 – Параметри методу водорозділу

В.3 Бінаризація зображення

Однією із найбільш відомих задач сегментування множини об'єктів є виділення тексту, зображеного на деякому фоні. Без цього фону

розв'язання задача сегментування вирішується процедурою бінаризації.

Суть процедури бінаризації [94], [157] полягає у приведенні існуючого зображення до зображення із бінарними значеннями функції інтенсивності (зазвичай 0 і 1). Це дає можливість суттєво зменшити кількість інформації, яка підлягає обробці. Результат цього скорочення може бути як достатньо успішним, так і невдалим. Не вдалість процедури бінаризації можна трактувати як наявність високотекстурованих об'єктів або появу різноманітних спотворень, наприклад, розриви границь, втрата деталізації, зашумленість. Усі ці негативні результати бінаризації мають вагомий вплив на подальшу обробку зображення. Особливо актуальними вони є у випадку розв'язання задачі розпізнавання. Операція порогового поділу полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення з заданим значенням порога. Істотні труднощі, що виникає при використанні порогової операції, полягає у виборі значення порогу. Якщо відома приблизна площа бажаного фрагмента, то можна вибрати нижній (верхній) поріг так, щоб площа фрагмента, в точках якого яскравість перевершує поріг, була менше (більше) передбаченої частки площі всього зображення (метод процентілей) [170]–[174]. У випадках, коли необхідний фрагмент містить точки іншого інтервалу яскравості, ніж інші точки зображення, розподіл яскравості зазвичай має пік, відповідний яскравості фрагмента. Тоді для виділення фрагмента потрібно вибрати пороги, відповідні локальних мінімумів розподілу, розташованим по обидва боки від цього піка (метод моди).

Існуючі на сьогодні методи бінаризації можна розділити на дві групи [173]:

– порогові методи (нижня порогова обробка, верхня порогова обробка, порогова обробка з подвійними обмеженнями, неповна порогова обробка);

– адаптивні методи (багаторівнева порогова обробка, локальна порогова обробка (метод Отсу, градієнтний, ентропійний та градієнтний

методи)), глобальна порогова обробка (методи Бернсена, Ейквіла, Ніблека, Яновиця і Брукштейна та інші).

Принциповою відмінністю методів цих двох груп є існування єдиного порогового значення для усього зображення. Для методів адаптивної групи таке значення визначається в межах окремих ділянок зображень, що підвищує ефективність сегментування у випадку зображень, які характеризуються зміною освітленості. Очевидно, що у більшості випадків адаптивні методи потребують більше обчислювального ресурсу.

Основною перевагою бінаризації, особливо це стосується випадку порогових методів, є швидкість роботи її процедур. Проте, проблема вдалого вибору значення порогового критерію може нівелювати усі переваги процедури бінаризації. Так, наприклад, в багатьох практичних випадках не існує процедури автоматичного чи автоматизованого вибору бінаризаційного методу, а тому це доводиться здійснювати вручну.

В.4 Метод витончення зображень

Інший підхід до задачі виділення фрагментів складається в вистежуванні границь (або контурів). Відстеження кордонів на двохградаційному зображенні полягає в систематичному перегляді до тих пір, поки не зустрінеться пара точок або клітин растра різної яскравості.

Для даного методу розглядається півтонування як набір шарів (топологічна модель), де кожен шар обробляється як бінарне зображення певного рівня. При обробці одного шару необхідно розглядати і шар, що лежить вище нього. На кожному кроці витончуються крайові для свого рівня пікселі, які не є елементами дуги і не впливають на зв'язність об'єкта, зменшуються до рівня фону. Аналіз пікселя здійснюється за чотири проходи: для верхнього, нижнього, правого і лівого країв [94],

[155]–[159]. За кожен прохід значення пікселя змінюється відповідно до умов:

$$P = \text{not } p_2 \text{ and } p_6 \text{ and } P \text{ and } (\text{not } p_1 \text{ and } p_4 \text{ or } \text{not } p_3 \text{ and } p_0 \text{ or } p_0 \text{ and } p_4), \quad (\text{B.10})$$

$$P = \text{not } p_6 \text{ and } p_2 \text{ and } P \text{ and } (\text{not } p_5 \text{ and } p_0 \text{ or } \text{not } p_7 \text{ and } p_4 \text{ or } p_4 \text{ and } p_0), \quad (\text{B.11})$$

$$P = \text{not } p_4 \text{ and } p_0 \text{ and } P \text{ and } (\text{not } p_3 \text{ and } p_6 \text{ or } \text{not } p_5 \text{ and } p_2 \text{ or } p_2 \text{ and } p_6), \quad (\text{B.12})$$

$$P = \text{not } p_0 \text{ and } p_4 \text{ and } P \text{ and } (\text{not } p_7 \text{ and } p_2 \text{ or } \text{not } p_1 \text{ and } p_6 \text{ or } p_6 \text{ and } p_2), \quad (\text{B.13})$$

де P – центральний піксель;

p_x – оточення пікселя для $x = 0, 1, \dots, 7$.

Якщо в умові перевірки для бінарного зображення варто значення p_x , то для напівтонового зображення робиться заміна на нерівність $p_x \geq P$, і відповідно там, де в бінарному варіанті перевіряється значення p_x на рівність нулю, в напівтоновому випадку робиться заміна на нерівність $p_x < P$. Якщо для спрощення виразів винести перевірку існування x як окрема умова, то умови перевірки для відповідних напрямків будуть наступними:

– коли $p_2 < P$ and $p_6 \geq P$ and $(p_1 < P$ and $p_4 \geq P$ or $p_3 < P$ and $p_0 \geq P$ or $p_0 \geq P$ and $p_4 \geq P)$, то піксель змінюється;

– коли $p_6 < P$ and $p_2 \geq P$ and $(p_5 < P$ and $p_0 \geq P$ or $p_7 < P$ and $p_4 \geq P$ or $p_4 \geq P$ and $p_0 \geq P)$, то піксель змінюється;

– коли $p_4 < P$ and $p_0 \geq P$ and $(p_3 < P$ and $p_6 \geq P$ or $p_5 < P$ and $p_2 \geq P$ or $p_2 \geq P$ and $p_6 \geq P)$, то піксель змінюється;

– коли $p_0 < P$ and $p_4 \geq P$ and $(p_7 < P$ and $p_2 \geq P$ or $p_1 < P$ and $p_6 \geq P$ or $p_6 \geq P$ and $p_2 \geq P)$, то піксель змінюється.

При виконанні вищевказаних умов відбувається зміни пікселя P : йому присвоюється або значення фону, яке значення мінімального сусіда з

його восьмиелементного оточення. Найбільш простою дією для зміни аналізованого пікселя при обробці бінарних площин, коли обробка йде від рівня фону до максимального рівня, є зменшення його напівтонової величини на одиницю.

V.5 Метод активних контурів

Використання для виявлення меж на зображенні кривих мінімальної енергії, які називаються снейками (snake – змія) в даний час активно розвивається не тільки для плоских, але і для об'ємних зображень [94], [155]–[159]. Передбачається, що межа, яку маємо знайти на зображенні являє собою гладку лінію. Задається деяке початкове наближення до границь у вигляді замкнутої кривої, яка не обов'язково відповідає дійсному стану границі, але близька до неї. Ця крива прокладається гнучкою і розтяжною, і під дією зовнішніх сил вона деформується і зміщується так, щоб найкращим чином відповідати границям. Припустимо, що модельована крива являє собою гнучку розтяжну важку нитку, зроблену з абстрактного еластичного матеріалу. Уявимо зображення у вигляді деякої поверхні H в тривимірному просторі. Для задач виявлення контурів поверхня зазвичай задається зворотним модулем градієнта H : $z(x, y) = -|\nabla I(x, y)|$.

Нехай нитка, що деформується (snake):

$$v(x) = (x(s), y(s)), \quad (B.14)$$

де s – параметр, що знаходиться на поверхні, на яку діє сила тяжіння

постійної величини g , спрямована вниз по осі OZ .

Під дією сили тяжіння нитка буде "сповзати" в долини поверхні H , забезпечуючи тим самим мінімум потенційної енергії нитки. Повна потенційна енергія нитки визначається інтеграцією по всій її довжині суми потенційних енергій, породжуваних кожною з трьох, що діють на нитку сил:

$$E_{\text{snake}}(v) = \int E_{\text{int}}(v(s)) + E_{\text{ext}}(v(s)) + E_g(v(s)) ds, \quad (\text{B.15})$$

де E_{ext} і E_g – являють собою потенційну енергію полів зовнішньої сили і гравітаційної;

E_{int} – внутрішня потенційна енергія нитки:

$$E_{\text{int}}(v(s)) = \omega_1(s) \left(\frac{dv}{ds} \right)^2 + \omega_2(s) \left(\frac{d^2v}{ds^2} \right)^2. \quad (\text{B.16})$$

Коефіцієнт $\omega_1(s)$ регулює натяг нитки, а $\omega_2(s)$ її напругу. Мінімізація функціоналу $E_{\text{snake}}(v)$ дає шукану кордон $v(s)$.

Основними недоліками методу активних контурів є необхідність знання початкового наближення до шуканої границі і великі обчислювальні витрати.

В.6 Методи сегментування зображення шляхом виділення контурів об'єктів

Існує три основних групи методів виділення контурів зображення об'єктів [94], [155]–[159]:

- метод просторового диференціювання;
- метод функціональної апроксимації;
- метод високочастотної фільтрації.

Загальним для всіх методів є прагнення розглядати контури як область різкого перепаду функції яскравості зображення $f(x, y)$, відрізняє їх математична модель поняття край або алгоритм пошуку крайових точок [159].

В.6.1 Метод високочастотної фільтрації

Метод заснований на тому, що інформація щодо контуру об'єкту вміщується в високочастотних складових спектру зображення. Метод виділення контурів полягає в високочастотній фільтрації зображення, що виконується з використанням бистої згортки та пороговою обробкою. Фільтрація описується виразом (В.17) [157]:

$$G(x, y) = F^{-1} \{ \tilde{f}(u, v), \tilde{H}(u, v) \}, \quad (\text{В.17})$$

де $\tilde{f}(u, v)$ – перетворення Фур'є функції $f(x, y)$;

$\tilde{H}(u, v)$ – передаточна функція високочастотного фільтра;

$F^{-1}(\dots)$ – оператор зворотного перетворення Фур'є.

Перехід від $G(x, y)$ до контурного зображення $L(x, y)$ здійснюється шляхом порівняння з пороговим значенням T , а саме:

$$L(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{при } G(x, y) \geq T; \\ 0, & \text{при } G(x, y) < T. \end{cases} \quad (\text{В.18})$$

Для досягнення прийнятного результату необхідно підбирати вид та параметри передаточної функції високочастотного фільтра.

В.6.2 Метод функціональної апроксимації

Метод заснований на тому, що кожна точка зображення (x, y) оточується деякою околицею ρ з центром в цій точці. В околиці визначається ступінчаста функція [157] виду (В.19):

$$\hat{S}(x, y, a, b, t, c, d) = \left\{ \begin{array}{l} c - \text{при } (ax + by \geq t), (x, y) \in \rho; \\ (c + d) - \text{при } (ax + by < t), (x, y) \in \rho; \\ 0 - \text{при } (x, y) \notin \rho, \end{array} \right\} \quad (\text{В.19})$$

де a, b, t, c, d – числові параметри [149].

Якість апроксимації функції $S(x, y)$ функцією $\hat{S}(x, y, a, b, t, c, d)$ в околиці визначається метрикою [94], [155]–[159]:

$$d(S, \hat{S}) = \iint_{\rho} [S(x, y) - \hat{S}(x, y, a, b, t, c, d)]^2 dx dy. \quad (\text{В.20})$$

Якщо існують такі параметри апроксимуючої функції $\hat{S}(x, y, a, b, t, c, d)$, які забезпечують задану якість апроксимації (величина $d(S, \hat{S})$), то точка лежить на контурі зображення. В протилежному випадку вважається, що точка не належить контуру. Метод визначення параметрів функції $\hat{S}(x, y, a, b, t, c, d)$ відомий як оператор Хюккеля та заснований на розкладанні в ряд Фур'є [94], [155]–[159].

Метод функціональної апроксимації також достатньо складний.

Рішення оптимізаційної задачі підбору параметрів функції необхідно виконати для кожної точки зображення, що потребує значний обсяг необхідних обчислень.

В.6.3 Метод диференціювання

Метод заснований на тому, що в точках контуру об'єкта модуль градієнта функції $f(x, y)$ приймає максимальні значення. Функціональна схема методу просторового диференціювання наведена на рис. В.4 [94], [155]–[159].

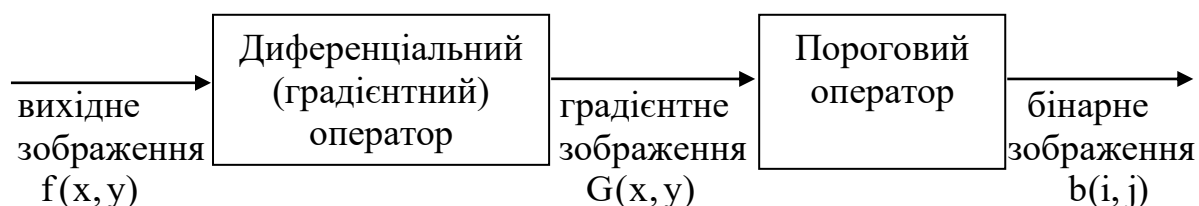


Рисунок В.4 – Функціональна схема методу просторового диференціювання [94], [155]–[159]

При цьому в кожній точці (x, y) обчислюється

$$G(x, y) = |\nabla f(x, y)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (\text{В.21})$$

$$\text{де } G_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \quad G_y = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}.$$

Далі по заданому пороговому значенню T визначається функція

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } |\nabla f(x, y)| \geq T; \\ 0, & \text{якщо } |\nabla f(x, y)| < T. \end{cases} \quad (\text{B.22})$$

Оскільки на практиці замість функції $f(x, y)$ задається функція дискретного аргументу $F(i, j)$, реалізація методу диференціювання передбачає заміну часткових похідних $\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}$ та $\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$ дискретними оцінками відповідних похідних.

На практиці методи чисельного диференціювання дають прийнятні результати тільки за умови, що зображення попередньо оброблене з метою придушення шумів, підвищення контрастності, підкреслювання границь [157].

В силу дискретності зображення у пам'яті електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) безпосереднє обчислення часткових похідних і модуля градієнта за виразом (B.21) неможливо [156]. Для того, щоб скористатися диференціюванням для визначення перепаду яскравості у будь-якій точці зображення необхідно застосувати градієнтний метод [94], [155]–[159]. Градієнтний метод заснований на процедурах просторових диференціальних операторів. Зазвичай оператор перепаду яскравості представляють у формі маскового лінійного фільтра [94], [155]–[159]. В процесі обробки маска, яка є матрицею коефіцієнтів, ковзає по полю зображення, займаючи по чергово всі можливі положення. В кожному положенні маска відіграє роль вікна, за допомогою якого відбираються пікселі зображення та проводиться поелементне множення на відповідний елемент маски з подальшим підсумовуванням всіх добутоків. Отримане число розглядається як відлік вихідного зображення в точці, що відповідає центру симетрії вікна. Вибір оператору диференціювання є головною відмінністю різних методів. Відомі основні наступні оператори диференціювання: Робертса, Превіта, Собеля, Кірша та інші [94], [155]–[159].

В.6.4 Метод Канні

В роботах Канні, наприклад [47], введено поняття Non-Maximum Suppression, яке означає, що пікселями границь є точки, в яких досягається максимум градієнта у напрямку вектору градієнта. Етапи методу Канні наступні [47], [94], [103].

1. Згладжування. Проводиться з метою зменшення впливу шумів на визначення границь, для чого використовується фільтр Гауса (вираз (В.23)):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad (\text{В.23})$$

де (x, y) - координати пікселя на зображенні;

$f(x, y)$ - яскравість зображення;

σ - параметр розмиття.

Значення параметра розмиття необхідно обрати таким, що забезпечує найбільше придушення шуму. Більше значення параметра використовується для виділення крупних границь, менше – для виділення маленьких деталей.

2. Пошук градієнту. Для визначення градієнту на зображенні після фільтру Гауса (В.23) використовується оператор Собеля [47], [94], [103], схема просторової фільтрації з використанням якого наведена на рис. В.5 [47], [94], [103].

Основою перетворення Собеля є припущення, що функція розриву яскравості на гранях становиться значно більшою. З цього припущення можна зробити висновок, що для знаходження граней достатньо здійснити диференціювання функції яскравості $f(x, y)$ (вирази (В.24), (В.25)):

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \Delta x = \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}, \quad (\text{B.24})$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \Delta y = \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}. \quad (\text{B.25})$$

В дискретних зображеннях dx та dy можна вимірювати в кількості пікселів між двома точками з використанням виразів (B.26), (B.27):

$$\Delta x = f(i + 1, j) - f(i, j), \quad (\text{B.26})$$

$$\Delta y = f(i, j + 1) - f(i, j). \quad (\text{B.27})$$

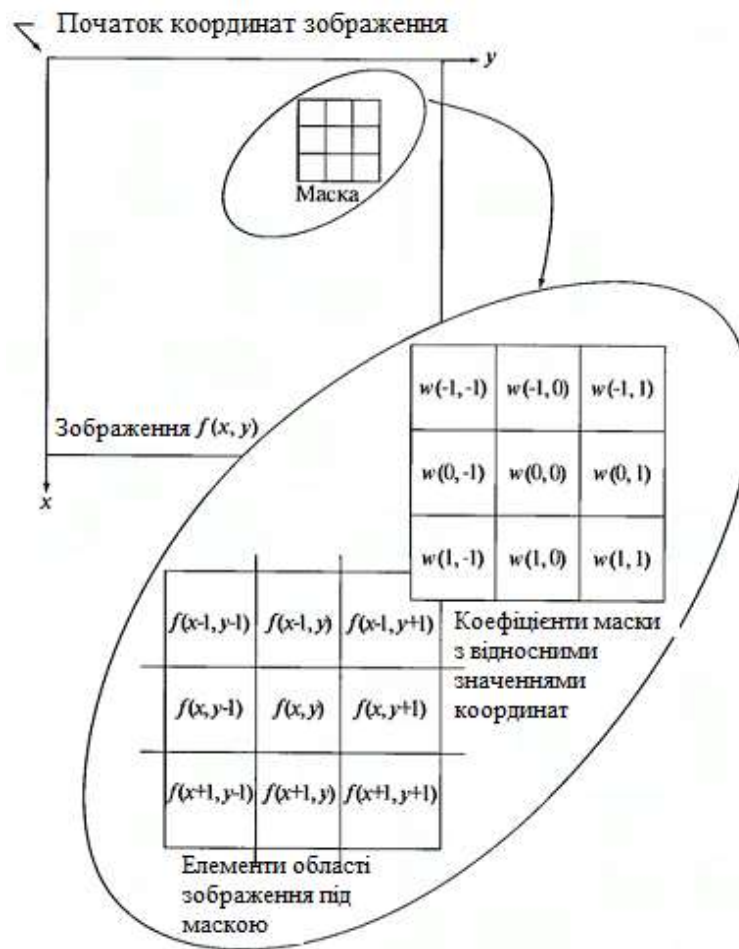


Рисунок В.5 – Схема просторової фільтрації з використанням оператору Собеля [47], [94], [103]

Вираз для визначення величини градієнту G можна записати наступним чином (вираз (B.28)):

$$G = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \quad (\text{B.28})$$

а напрямок θ (вираз (B.29)):

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right). \quad (\text{B.29})$$

У виразах (B.28), (B.29) оцінка градієнту проводиться з використанням масок (2x2):

$$\Delta x = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (\text{B.30})$$

$$\Delta y = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{B.31})$$

Основний недолік використання масок (B.30), (B.31) – велика кількість помилок з причини наявності шуму [695]. Крім того, використання масок парного порядку не дає можливості проводити оцінку на основі пікселя, що розташований по центру маски. Тому, будемо використовувати оператор Собеля з масками (B.32), (B.33):

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (\text{B.32})$$

$$K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}. \quad (\text{B.33})$$

З аналізу виразів (B.32), (B.33) (у порівнянні з (B.30), (B.31)) видно використання коефіцієнту 2 для середніх елементів. Цей факт використаний з роботи [47], а збільшене значення коефіцієнту використовується для зменшення ефекту згладжування за рахунок надання більшої ваги середнім точкам. Значення та напрямки величини градієнту G приймають вид (B.34), (B.35), відповідно:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (\text{B.34})$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_x|}{|G_y|}\right). \quad (\text{B.35})$$

Після використання оператора Собеля інтенсивність кожного пікселя вихідного зображення дорівнює градієнту вектору яскравості.

3. Придушення хибних максимумів. Мета цього етапу – перетворити "розмиті" границі в "чіткі". Це досягається збереженням локальних максимумів та видаленням всього іншого. Для кожного пікселя виконуються наступні дії:

- напрямки градієнту округлюється до найближчого значення, що кратне 45° (рис. B.6а [69]);

- якщо у поточній точці досягається локальний максимум у напрямку градієнту, то вона є частиною границі;

- у протилежному випадку точка видаляється (рис. B.6б [47], [94], [103]).

Принцип придушення проілюстрований на рис. B.6б. Всі пікселі на

рис. В.6б мають "орієнтацію ввєрх", тому значення градієнту в цих точках буде порівняно з нижче та вище розташованими пікселями. Пікселі, що обведені білим кольором на рис. В.6б залишаються у вихідному зображенні, інші – будуть придушені.

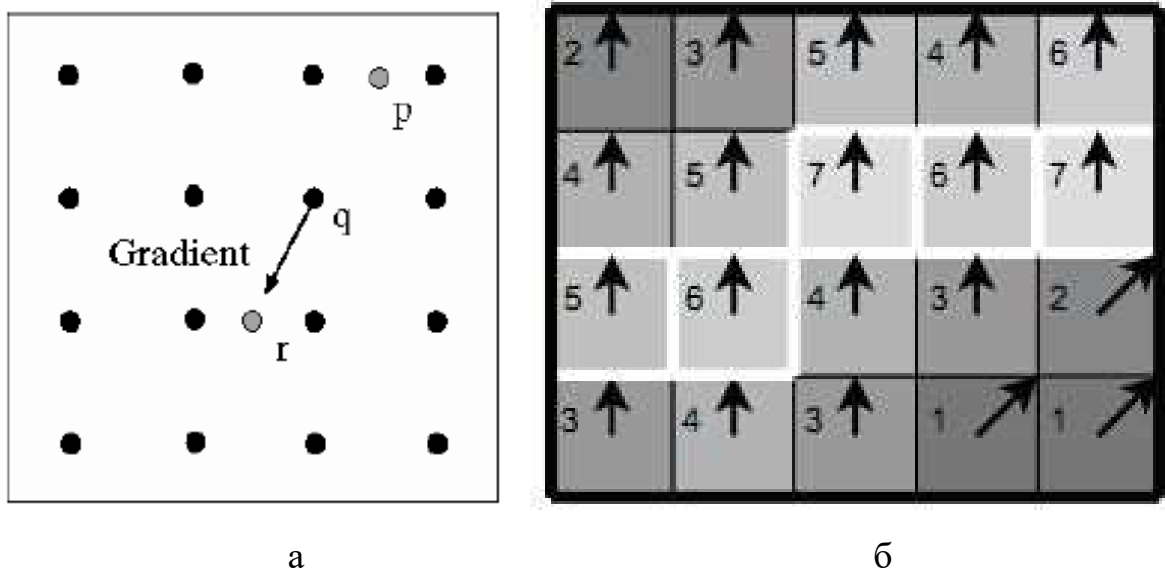


Рисунок В.6 – Пошук локальних максимумів [47], [94], [103]:

а) (максимуми p та r інтерполуються (видаляються)); б) принцип придушення хибних максимумів

4. Подвійна порогова фільтрація (рис. В.7 [47], [94], [103]). Сутність – кожен піксель, що перевищує верхній поріг, відмічається як "сильний", кожен піксель, що попадає між двома порогамі, – "слабий" (яскравість таких пікселів приймає фіксоване середнє значення та буде уточнено на наступному етапі), пікселі, що менше нижнього порогу, видаляються.

Використання подвійного порогу дозволяє зменшити вплив шуму (за рахунок верхнього порогу) та не втратити "хвости" (за рахунок нижнього порогу).

5. Трасування області невизначеності. Задача зводиться до виділення груп пікселів, що отримали на попередньому етапі проміжне значення та віднесенню їх до границі (якщо вони з'єднанні з однією з встановлених

границь) або їх придушенню (в протилежному випадку).

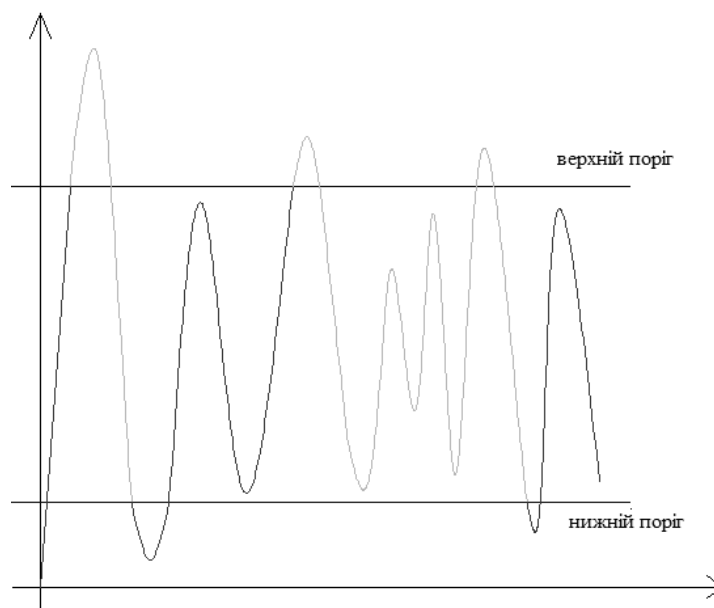


Рисунок В.7 – Використання двох порогів в методі Канні [47], [94], [103]

В [156] для підкреслення перепадів інтенсивності зображення запропоновано використовувати вейвлет-перетворення. Вейвлет-перетворення зберігає завадостійкість методів контурного сегментування та незначно знижує точність виділення контурів об'єктів. В якості показника завадостійкості в [156] використовувався критерій Претта [47], а точність виділення контурів оцінювалась показником близькості між границями тестового ідеально сегментованого зображення та зображення, що сегментоване з використанням вейвлет-перетворення [157]. В [157] показано, що позитивний ефект від використання вейвлет-перетворення досягається тільки для окремих випадків, коли відношення сигналу до шуму по потужності перевищує значення, що дорівнює 5, а також при умові, коли ширина перепаду границі перевищує 3 пікселя. В інших випадках метод Канні дає кращі результати у порівнянні з методом контурного сегментування [47], [103].

При порівнянні методів контурного сегментування критерієм є візуальна якість зображення контурних об'єктів [157]. Візуальна якість оцінюється по тому, наскільки правильно виділений контур об'єкта

відображає реальні границі об'єкта, а також по якості отриманих контурних ліній об'єкта. Якість границь оцінюється безперервністю ліній контурів, їх товщині, кількістю хибних точок (шумові складові).

На основі аналізу методів просторового диференціювання встановлено [157]:

- збільшення розміру маски приводить до росту завадостійкості оператора;
- по реакції на ідеальний ступінчатий перепад найкращими є оператори з масками Собеля та Превіта;
- оператори Собеля та Превіта перевершують по імовірності правильної класифікації точок границь інші оператори;
- усі оператори виділяють в 1,6–2 рази більше точок, ніж їх є на границі.

Таким чином, для виділення контурів – границь об'єктів найбільш прийнятними є методи просторового диференціювання, в тому числі методи Собеля, Превіта, Кірша, Уолліса та метод Канні. Основним недоліком указаних методів є наявність розривів, точок та штрихів, які утворюють завадовий фон. Кількість таких елементів, що не належить контурам, можна зменшити шляхом застосування медіанної або логічної фільтрації, але повного їх усунення добитися неможна [157]. Цей недолік притаманний усім відомим методам виділення контурів, таким як методи Робертса, Превіта, Собеля, Кірша, Уолліса [47]. Не вільний від цього недоліка і метод Канні, якому відомі методи поступаються по якості виділення контурів [47], [103].

В.6.5 Апроксимація контурів ламаною лінією

У методі полігональної апроксимації ітеративно будується такий

багатокутник, який містив би мінімальне число вершин і в той же час представляв фігуру із заданою точністю (рис. В.8а).

Метод апроксимації контурів заданими кривими передбачає подання аналізованих фігур у вигляді набору стандартних фігур, близьких до апроксимується за формою і розмірами (прямокутник, еліпс, ромб, трикутник).

Тоді для дискретного замкнутого контуру $V=\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ з координатами контурних точок $b_i=(x_i, y_i)$ з безлічі стандартних фігур підбирається та, для якої сума квадратів відстаней до точок контуру мінімальна [155]–[159].

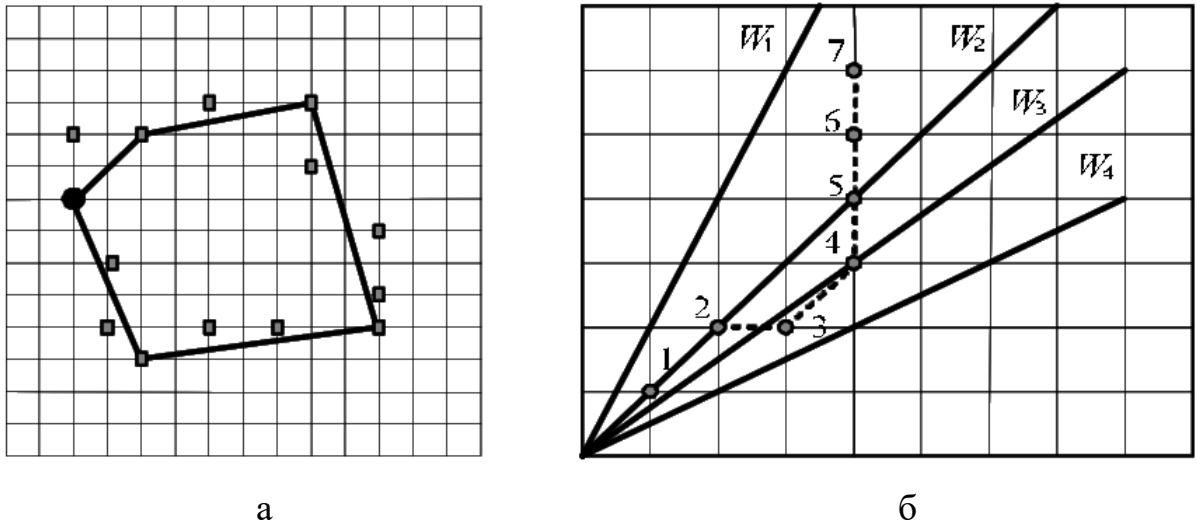


Рисунок В.8 – Апроксимація контурів: а) полігональна апроксимація, б) побудова ламаної контуру

При побудові кожного відрізка ламаної контуру з початку координат проводяться промені через сусідні з (x_i, y_i) точки реєстру (рис. В.8б). Промені W_j вибираються так, щоб утворений ними кут мав максимальне значення. Номер променю дорівнює номеру вершини, що вносить відповідне обмеження на область, якої повинен належати вузол апроксимації.

В.6.6 Методи параметричного завдання контурів

При полярному кодуванні контурів [94], [155]–[159] здійснюється сканування контурів з центру мас радіальними променями через рівні кути. Довжина радіус-вектора між центром мас і точкою перетину з контуром використовується як елемент одновимірного масиву $R(\theta_i)$ (рис. В.9а). Одномірне опис контуру виходить при використанні методу кодування напрямків.

Компактне представлення плоских кривих виходить при використанні ланцюгового кодування, запропонованого Х. Фріменом [94], [155]–[159] (рис. В.9б))

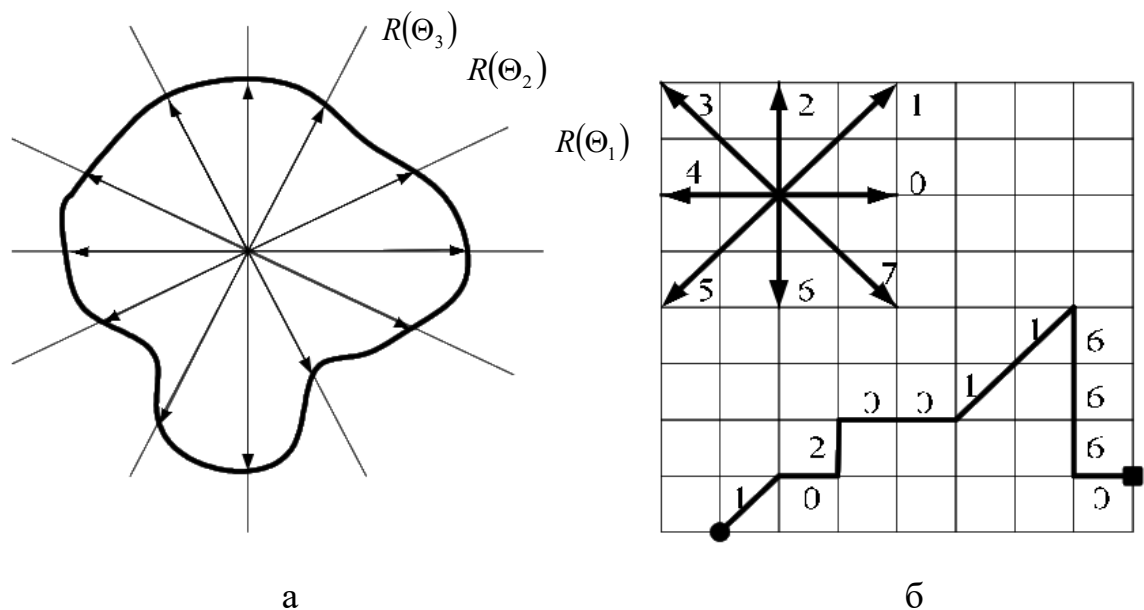


Рисунок В.9 – Кодування контуру: а) полярне, б) ланцюговий код

Рухома координатна система, створена на базі ланцюгового коду, забезпечує інваріантність описів щодо операцій паралельного переносу.

Кутові коди [155]–[159], володіючи інваріантними властивостями

щодо операцій перенесення і повороту, забезпечують отримання узагальнених характеристик для подання контурів зображень (рис. В.10).

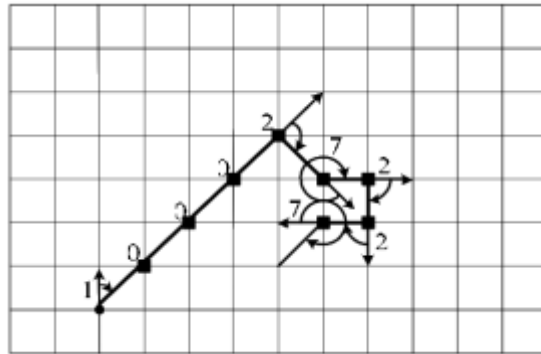


Рисунок В.10 – Метод кутового кодування контуру

Нехай $\Phi = \{S_i\}_{i=1}^m$ – кутовий код довжини m , S_i – i -й елемент коду (для прямокутової решітки $\{2,3,4,5,6\}$). Пряма, що збігається з вертикаллю, горизонталлю або діагоналлю, задається в кутовому коді послідовністю елементів прямокутної решітки. Відхилення від прямої для i -ї точки коду дорівнює $C_i = 5 - S_i$. Оцінити кривизну i -го елементу можна як:

$$q_i = \sum_{Y=i-l_1}^{i+\frac{l_1}{2}} C_Y \bmod m, \quad (\text{В.36})$$

де l_1 – довжина кодового запису, на якій розраховується кривизна.

При обчисленні кривизни для всіх точок контуру ділянкою довжиною l_1 здійснюється сканування кутовим кодом уздовж всього контуру. Звідси отримуємо:

$$q_i = 5l - S_{\left(i - \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor\right) \bmod m} - \sum_{j=i+1 - \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor}^{i + \frac{l_i}{2}} S_j \bmod m. \quad (\text{B.37})$$

Для наступного елемента коду:

$$q_{(i+1) \bmod m} = 5l_1 - \sum_{j=i+1 - \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor}^{i + \frac{l_i}{2}} S_j \bmod m - S_{\left(i+1 + \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor\right) \bmod m}. \quad (\text{B.38})$$

Порівнюючи вирази, отримуємо оцінку кривизни в рекурентному вигляді:

$$q_{(i+1) \bmod m} = q_i + S_{\left(i - \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor\right) \bmod m} - S_{\left(i+1 + \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor\right) \bmod m}. \quad (\text{B.39})$$

Оцінка $q_{(i+1) \bmod m}$ являє собою суму відхилень S на ділянці контуру l_1 (всі відхилення підсумовуються з одиничними вагами). Для оцінки кривизни другого порядку, фрагмент довжиною l_2 сканують уздовж контуру з урахуванням отриманої раніше оцінки $q_{(i+1) \bmod m}$:

$$Q = 5 \sum_{j=i - \left\lfloor \frac{l_i}{2} \right\rfloor}^{i + \frac{l_i}{2}} q_{j \bmod m}. \quad (\text{B.40})$$

Величина Q_i є сумою відхилень з вагами, що зростають від початкової до центральної ділянки сканування.

$$\begin{aligned}
Q_i = & \sum_{k=i-\left[\frac{l_2}{2}\right]-\left[\frac{l_1}{2}\right]}^{i+\left[\frac{l_2}{2}\right]+\left[\frac{l_1}{2}\right]} C_{k \bmod m} + \sum_{k=i-\left[\frac{l_2}{2}\right]-\left[\frac{l_1}{2}\right]+1}^{i+\left[\frac{l_2}{2}\right]+\left[\frac{l_1}{2}\right]+1} C_{k \bmod m} + \dots \\
& + \sum_{k=i-\left[\frac{l_2}{2}\right]-\left[\frac{l_1}{2}\right]-1}^{i+\left[\frac{l_2}{2}\right]+\left[\frac{l_1}{2}\right]-1} C_{k \bmod m} + \sum_{k=i-\left[\frac{l_2}{2}\right]-\left[\frac{l_1}{2}\right]}^{i+\left[\frac{l_2}{2}\right]+\left[\frac{l_1}{2}\right]} C_{k \bmod m}.
\end{aligned} \tag{B.41}$$

Максимальна вага в центрі ділянки сканування досягає величини $2\left[\frac{l_2}{2+1}\right]$. Довжина ділянки сканування при цьому дорівнює $2\left[\frac{l_1}{2+1}\right] + 2\left[\frac{l_2}{2+1}\right] + 1$, а кількість відхилень в центрі ділянки сканування становить $2\left[\frac{l_1}{2+1}\right] - 2\left[\frac{l_2}{2+1}\right] + 1$. При оцінці кривизни більш високих порядків враховуються відхилення точок з різними вагами:

$$Q_i = \sum_{j=i-\left[\frac{l_2}{2}\right]}^{i+\left[\frac{l_2}{2}\right]} \left\{ 5l_i - \sum_{k=i-\left[\frac{l_1}{2}\right]}^{j+\left[\frac{l_1}{2}\right]} S_{k \bmod m} \right\}. \tag{B.42}$$

У підсумку отримуємо рекурентну формулу, яка б пов'язала Q_i і Q_{i+1} :

$$Q_{(i+1) \bmod m} = Q_i + S_{\left(i+\left[\frac{l_1}{2}\right]+\left[\frac{l_2}{2}\right]\right) \bmod m} - S_{\left(i+1+\left[\frac{l_1}{2}\right]+\left[\frac{l_2}{2}\right]\right) \bmod m}. \tag{B.43}$$

Алгоритми перекодування ланцюгового коду в кутовий і назад дозволяють використовувати їх на різних етапах обробки зображень при автоматичній побудові сегментів і об'єднати їх під загальною назвою "відносні коди". Методи відносного кодування забезпечують значне

скорочення вимог до обсягу оперативної пам'яті персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ) і зменшення часу відгуку в інтерактивних системах проектування.

Результат векторизації методом ланцюгового коду представлено на рис. В.11.



Рисунок В.11 – Результат автоматичної векторизації морського узбережжя методом ланцюгового коду

В.6.7 Метод топологічного завдання контурів

Топологічний метод трактує все зображення як граф, кожна вершина якого відповідає пікселю зображення. Вершини, відповідні сусіднім пікселям зв'язуються зваженими ребрами. Так як метод заснований на знаходженні в графі шляхів мінімальної вартості, то значення цієї функції

повинно бути мінімально на ребрах, відповідних контуру зображення. Ця функція має такий вигляд:

$$l(p, q) = w_Z \cdot f_Z(q) + w_G \cdot f_G(q) + w_D + f_D(p, q), \quad (B.44)$$

де $f_Z(q)$ – локальні мінімуми градієнта;

$f_G(q)$ – сила градієнта;

$f_D(p, q)$ – відповідає більш гладким границям;

w_Z, w_G, w_D – евристично підібрані коефіцієнти.

Спочатку вказується піксель на границі об'єкта (початкова, приманкова точка). Після чого алгоритм обчислює шлях мінімальної вартості від обраної вершини до решти невибраних вершин графа. Ваги діагональних зв'язків беруться з урахуванням евклідової відстані між вершинами (рис. В.12).

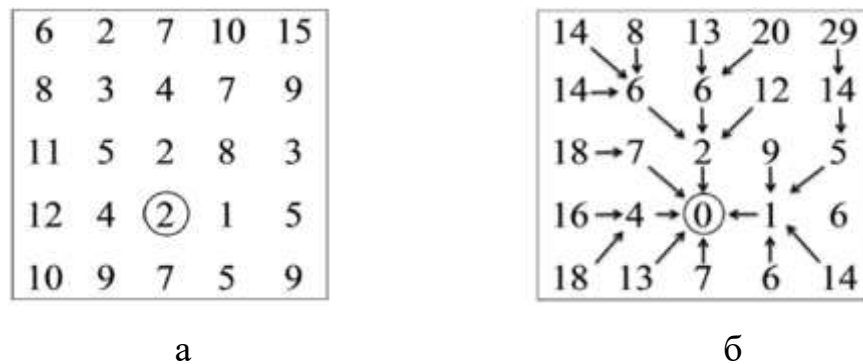


Рисунок В.12 – Ваги діагональних зв'язків: а) початкова матриця, б) матриця графа найкоротших шляхів

Нехай вихідне зображення представлено локальною матрицею ваг зваженого графа, що характеризує властивості пікселів. Після чого обчислюється карта напрямків, за допомогою якої будується оптимальний шлях від довільно обраної точки зображення до початкової (виділена дужками). Кожне число в матриці накопичених ваг відповідає вартості

шляху від обраної точки до початкової.

Для обчислення карти напрямків, яка задає оптимальний шлях, використовувався пошук в чотирьохзв'язної області. Якщо зображення сильно зашумлено або містить об'єкти складної форми, то може знадобитися кілька граничних сегментів для завдання сегментує контуру (рис. В.13).

Якщо отриманий сегмент адекватно описує частину кордону об'єкта, то вказується нова приманки точка для подальшого виділяється граничного сегмента. Дана технологія є інтерактивною технологією сегментації в реальному часі, що дозволяє точно визначати складні контури на кольорових і напівтонових зображеннях, проте обчислення карти напрямків для всіх точок зображення є вкрай ресурсномісткою операцією, особливо коли розмір зображення великий.

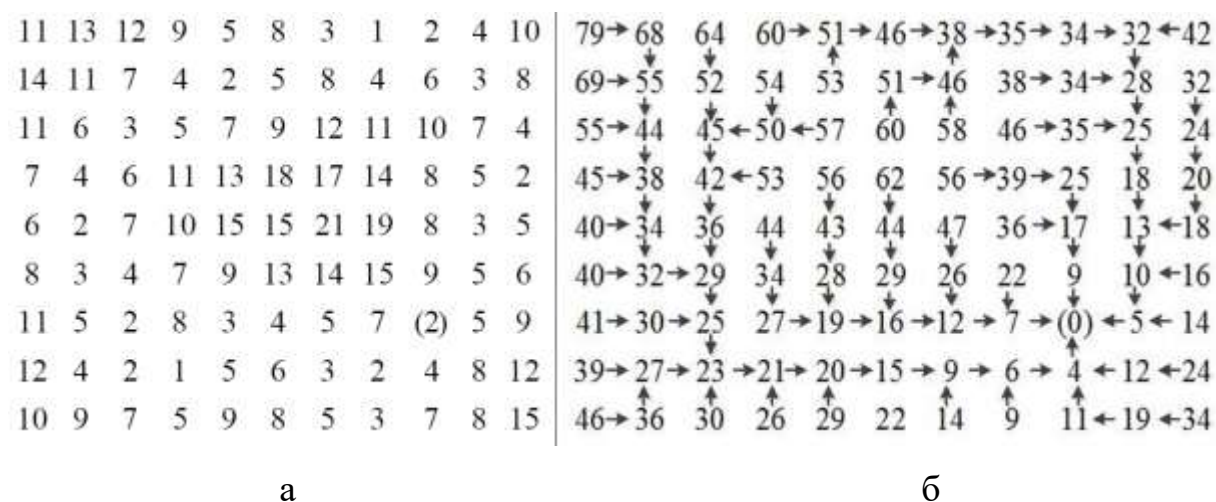


Рисунок В.13 – Ваги діагональних зв'язків для зашумленого зображення:

а) матриця локальних ваг, б) матриця накопичених ваг

В.6.8 Зв'язування елементів контурів

Зв'язування елементів краю, усунення можливих розривів і

видалення неіснуючих перетинів здійснюється методом евристичного пошуку [69], [155]–[159], в якому виділення краю розглядається як пошук найкоротшого шляху на графі. Вузлами графа, або станами, є елементи краю, які визначаються двома сусідніми поодинокими ділянками зображення.

Властивості контурів враховуються в оціночній функції – здійснюється пошук краю, що мінімізує цю функцію. З деякими модифікаціями для цих цілей використовуються наступні методи:

- метод динамічного програмування, в якому здійснюється покрокова оптимізація цільової функції;
- "жадібний" і дерев'яний алгоритми;
- метод Прима і Крускала для побудови основного дерева мінімальної ваги;
- метод Дейкстри для вибору найкоротшого шляху на графі;
- метод гілок і меж для вирішення екстремальних комбінаторних задач.

Зв'язування точок контуру полягає в аналізі характеристик пікселів в невеликій (3×3 або 5×5) оточення кожної точки (x, y) зображення, яка була відзначена як контурна точка зображення

Піксель контуру, що має координати (x_0, y_0) і розташований всередині заданого оточення точки (x, y) , вважається подібним по модулю градієнта з пікселем (x, y) , якщо

$$|\text{Gradient}(x, y) - \text{Gradient}(x_0, y_0)| \leq E, \quad (\text{B.45})$$

де E – заданий невід'ємний градієнтний поріг.

Напрямок вектору градієнта задається виразом:

$$\text{angle}(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right). \quad (\text{B.46})$$

Піксель контуру з координатами (x_0, y_0) , розташований всередині заданої околиці точки (x, y) , вважається подібним у напрямку градієнта з пікселем (x, y) , якщо

$$|\text{angle}(x, y) - \text{angle}(x_0, y_0)| < A, \quad (\text{B.47})$$

де A – заданий невід’ємних кутовий поріг.

Напрямок контуру в точці (x, y) перпендикулярно напрямку вектору градієнта в цій точці. Піксель в заданій околиці об’єднується з центральним пікселем (x, y) , якщо виконані критерії подібності і за величиною, і за напрямком. Цей процес повторюється для кожної точки зображення.

Технологія застосування графових структур передбачає відшукування ділянок контуру і їх представлення у вигляді вершин графа і пошуку на цьому графі шляхів з найменшою вартістю, які відповідають значущим контурам. Таке уявлення дозволяє побудувати метод, добре працює в присутності шуму.

Граф $G=(V, E)$ є непорожня кінцева множина вершин V разом з множиною E неупорядкованих пар різних елементів з V . Кожна пара (n_i, n_j) в E називається ребром. Якщо дуга, спрямована від вершини n_i до вершини n_j , то вершина n_i , називається початковою вершиною дуги (батьком), а n_j – кінцевою вершиною дуги (нащадком). Процес виявлення нащадків деякої вершини називають її розширенням. Кожній дугі (n_i, n_j) приписана деяка вартість $\text{cost}=c(n_i, n_j)$. Послідовність вершин n_1, n_2, \dots, n_k , в якій кожна вершина n_i є нащадком вершини n_{i-1} , називається шляхом від n_1 до n_k . Вартість всього шляху дорівнює:

$$G = \text{SUM}[c(n_{i-1}, n_i)], \quad i = 2, \dots, k. \quad (\text{B.48})$$

Ділянка контуру – межа між двома точками p і q , які є сусідами по 4-зв'язності. Елементи контуру ідентифікуються (x, y) – координатами точок p і q . Контур є послідовністю з'єднаних один з одним ділянок контуру, причому кожному елементу контуру, заданому пікселями p і q , зіставляється вартість: $c(p, q) = H[f(p) - f(q)]$,

$$c(p, q) = H[f(p) - f(q)], \quad (B.49)$$

де H – максимальний рівень яскравості в зображенні;

$f(p)$ і $f(q)$ є значення яскравості пікселів p і q відповідно.

Зазвичай точка p знаходиться праворуч від напрямку обходу елемента контуру. Проводиться побудова орієнтованого графа з усіма можливими вершинами і ребрами із зазначенням вартості кожного направленої ребра. Після побудови графа наступним завданням є пошук шляху з найменшою вартістю. Одним з часто використовуваних методів є підгонка ліній і кривих. В основі його лежить поєднання елементів краю підгонкою ліній, що проходять через ці елементи з використанням перетворень Х'ю [170]. Всі ці методи відносяться до послідовних і їх недолік в тому, що помилка, допущена в середині краю, призводить великий помилці в кінці, так як алгоритми не передбачають зворотного руху по графу. Навіть при вдалому виборі початкової точки і оцінної функції алгоритми вимагають великого обсягу пам'яті для зберігання проміжної інформації, хоча досить добре виділяють контури і працюють при високому рівні перешкод. Відомий, так званий метод релаксації, що складається в циклічному виконанні ітеративного процесу. На кожній ітерації вибирають найбільш підходящі з можливих кандидатів на елементи краю. Незважаючи на те, що метод релаксації відноситься до паралельним, швидкість збіжності ітераційного процесу часто низька, через складність вибору оцінної функції. Паралельний метод кодування крайових структур розглядає для зв'язування елементів контурів різні

комбінації допустимих переходів при аналізі вікон 2×2 або 3×3 . Безліч відомих евристичних методів має ієрархічну структуру, первинними елементами якої є правило і принцип. Методологічне правило – це розпорядження, дозвіл або заборона виконання операції або предметної дії. Методологічний принцип – цілеспрямована керівна ідея для виконання певної методологічної діяльності [155]–[159]. В алгоритмі фіксованих вікон послідовно проглядаються елементи вихідного зображення [155]. Навколо кожного з досліджуваних елементів певним чином розкриваються вікна, конкретний вид яких представлений на рис. В.14.

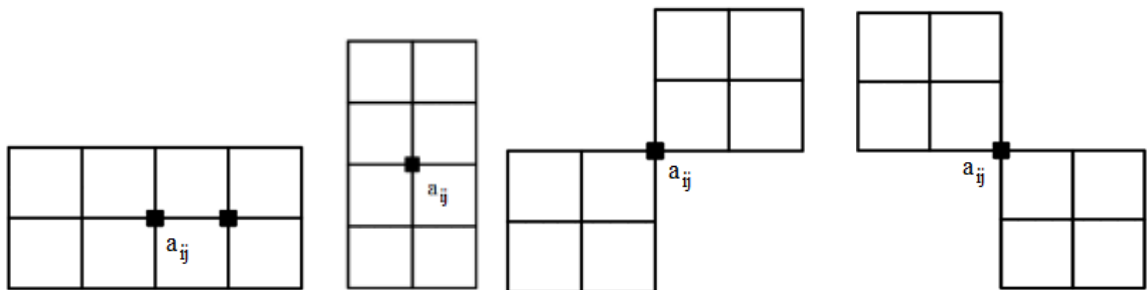


Рисунок В.14 – Вікна фіксованих напрямків

Вікна обрані таким чином, що досліджуваний елемент a_{ij} розташований на осі симетрії проведеної між аналізованими вікнами. спочатку вони мають фіксований, заздалегідь визначений мінімальний розмір, який визначається параметром k . Залежно від параметра k розміри вікна приймаються рівними $(2k + 1) \times (2k + 1)$. Для маски розміром $(2k + 1) \times (2k + 1)$ з центральним досліджуваним елементом (i, j) обчислюється усереднена функція яскравості:

$$f^k(i, j) = \frac{\sum_{m=i-k}^{m=i+k} \sum_{n=j-k}^{n=j+k} f(m, n)}{(2k + 1)^2}. \quad (\text{B.50})$$

Далі для чотирьох напрямків (горизонтального, вертикального і двох

діагональних) обчислюються функції за такими формулами:

$$L^{(k,\Gamma)}(i,j) = \left| f^k(i+k,j) - f^k(i-k-1,j) \right|, \quad (B.51)$$

$$L^{(k,B)}(i,j) = \left| f^k(i,j+k) - f^k(i,j-k-1) \right|, \quad (B.52)$$

$$L^{(k,\Pi D)}(i,j) = \left| f^k(i+k,j+k) - f^k(i-k-1,j-k-1) \right|, \quad (B.53)$$

$$L^{(k,\Pi D)}(i,j) = \left| f^k(i+k+1,j-k+1) - f^k(i-k,j+k) \right|. \quad (B.54)$$

Серед отриманих значень вибирається максимальна функція L_{\max} :

$$L_{\max} = \max \left\{ L^{(k,B)}(i,j), L^{(k,\Gamma)}(i,j), L^{(k,\Pi D)}(i,j), L^{(k,\Pi D)}(i,j) \right\}. \quad (B.55)$$

Залежно від параметрів зображення вибирається поріг фільтрації T ($T > 0$). При цьому, якщо $L_{\max} \leq T$, то обчислення проводяться далі для $k = k + 1$ (збільшуються розміри розглянутого вікна) до тих пір, поки не буде виконана умова $L_{\max} > T$ або до певного значення $k = k_{\max}$ ($k_{\max} \leq 5$). Якщо L_{\max} не досягає значення більшого порогу яскравості T , то в точці (i,j) відсутній край, а в іншому випадку в ця точка належить контуру [94], [155]–[159].

На практиці параметр k набуває таких значень:

$$\begin{aligned} (k_{\text{нач}} = 0, k_{\text{max}} = 4), \\ (k_{\text{нач}} = 1, k_{\text{max}} = 5) \end{aligned} \quad (B.56)$$

До недоліків даного методу слід віднести необхідність емпіричного

підбору порогових значень при сегментуванні зображень.

Зазначений недолік усунуто в розробленому автором методі адаптивного вибору порогових значень на основі оцінки локального контрасту елемента зображення (x, y) , в якому визначаються вибіркові оцінки середнього значення інтенсивності μ і середнього квадратичного відхилення σ за формулами:

$$\mu = \frac{1}{8} \left[\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(x+i, y+j) - f(x, y) \right], \quad (\text{B.57})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{8} \left\{ \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 [f(x+i, y+j) - \mu]^2 - [f(x, y) - \mu]^2 \right\}. \quad (\text{B.58})$$

Тоді

$$T(x, y) = k\sigma, \quad (\text{B.59})$$

де k – константа, яка визначається з Гауссова розподілу значень інтенсивності фону, на якому розташований точковий об'єкт.

Аналіз застосування розробленого методу на тестових зображеннях дозволяє зробити висновок про те, що його доцільно використовувати для обробки багаторівневих градацій яскравості зображень із значною кількістю зламів в контурі, при зашумленості до 18% [94], [155]–[159].

При виділенні контурів можливі ситуації, коли контурна лінія буде мати ширину в 2–3 рівня дозволу. Знайдений в ході експерименту поріг фільтрації дорівнює $T_{\text{огт}} = (80-120) = (1,4-1,6)G_{\text{ср}}$. [94], [155]–[159].

В.6.9 Метод фіксованих напрямків

В методі фіксованих напрямків градієнт в точці обчислюється за фіксованими напрямками (рис. В.15) [155]–[159].

Навколо кожного елемента зображення формується кілька груп точок (кліки), в кожену з яких входить точка, яка аналізується. Кліки відносяться до одного з чотирьох типів – горизонтального, вертикального або одного з похилих. Точка (i, j) входить в дві кліки кожного типу.

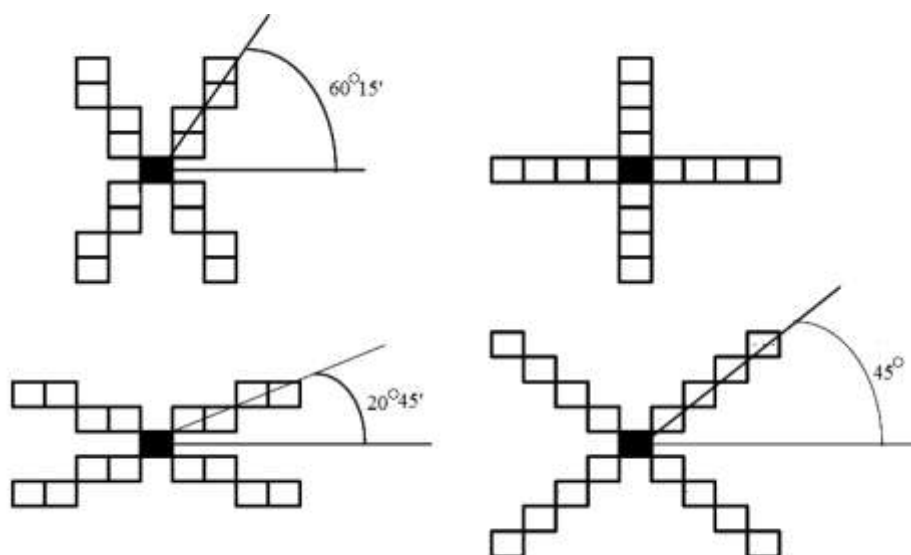


Рисунок В.15 – Фіксовані напрямки аналізу елементів

Розроблено три модифікації алгоритму фіксованих напрямків для обчислення градієнта в точці за фіксованими напрямками. Для центральної точки обчислюються функції градієнта $R_d(i, j)$, $S_d^r(i, j)$, $L_d(i, j)$.

Модифікація 1. Аналіз елементів здійснюється у восьми напрямках. При цьому для кожного елемента (i, j) в напрямку d обчислюється функція:

$$r_d(i, j) : r_d(i, j) = \max \{f(x, y)\} - \min \{f(x, y)\}, \quad (\text{B.60})$$

де (x, y) – точка вздовж напрямку d .

Далі проводиться порівняння $r_d(i, j) \geq T$, тоді $R_d(i, j) = 1$, інакше $R_d(i, j) = 0$, а $R_d(i, j)$ – результуюча матриця.

Модифікація 2. Замість $r_d(i, j)$ обчислюється функція $S_d^r(i, j)$:

$$S_d^r(i, j) = \frac{\left[\sum_{(x,y) \in d} (f(x,y) \bar{f}_d)^2 \right]}{(2N+1)}, \quad \bar{f}_d = \frac{\left[\sum_{(x,y) \in d} f(x,y) \right]}{(2N+1)}, \quad (B.61)$$

де $(2N+1)$ – кількість точок з напрямку d .

Модифікація 3. Замість $r_d(i, j)$ обчислюється функція $L_d(i, j)$:

$$L_d(i, j) = \sum_{k=-N}^{k=+N} a_k \cdot f_k, \quad (B.62)$$

де a_k – константи, які відповідають умовам $\sum_{k=-N}^{k=+N} a_k = 0$ та $a_k = a_{-k}$.

Проведене дослідження методу фіксованих напрямків показало, що його можна використовувати для виділення елементів контурів з різко позначеними краями при зашумленості до 15%. Знайдені оптимальні пороги фільтрації рівні: $T_{\text{опт}}=(120 - 150)$ (модифікація 1), $T_{\text{опт}}=(1500 - 2500)$ (модифікація 2), $T_{\text{опт}}=(10 - 50)$ (модифікація 3). При оптимально обраній апертурі, метод може зберігати без спотворень різкі границі зображень, ефективно пригнічуючи некорельовані або слабо корельовані перешкоди і малорозмірні деталі. У той же час, за аналогічних умов, метод, здійснюючи згладжування перешкод, неминуче "змазує" різкі границі і контури об'єктів [159].

В.6.10 Метод лінійної векторизації з центроїдною фільтрацією

Відмінними ознаками графічного зображення є їх просторова і графічна визначеність. Просторова визначеність означає, що кожна точка зображення належить єдиному і цілком певному структурному елементу зображення, який може бути об'єктом, або бути частиною одного або декількох об'єктів у відповідній предметній області. Тим самим реалізується структурна обумовленість зображень їхнім планом побудови, коли кожне графічне зображення будується відповідно до апріорним планом, який визначає місце розташування, смислові характеристики і взаємозв'язку його структурному елементу.

Графічна визначеність полягає в тому, що для кожного точно вказана його графічна форма, яка визначається видом зображуваного об'єкта і його смисловими характеристиками. Зображення складається з таких графічних форм відповідно до деякої заздалегідь заданої їх номенклатурою (або легендою), яка передбачає певне графічне виконання зображень об'єктів в формі умовних знаків. Використання умовних знаків забезпечує передачу семантики зображення при візуальному сприйнятті за рахунок асоціювання знаків з образами об'єктів у відповідній предметній області.

Всі структурні елементи, складові графічного зображення, можна поділити на три типи – планарні, лінійні і точкові. Планарні виражаються в масштабі зображення і їх місце розташування визначається областю їх розміщення на зображенні. Їх графічні форми зводяться до заповнення цієї області певним тоном, кольором або малюнком. Розмір лінійних структурних елементів коли виявляється у масштабі зображення і їх місце розташування визначається трасою їх розміщення на зображенні, уздовж якої прокладається умовний знак того чи іншого виду лінії, що відповідає виду елемента. Така лінія повинна мати деяку товщину, що необхідно для

її візуального сприйняття. Місцезнаходження точкових визначається точкою їх позиціонування на зображенні, яка поєднується із задалегідь заданою фіксованою точкою відповідного умовного значка, що представляє собою локалізовану графічну конструкцію (символ, піктограму) певного розміру, необхідного для візуального сприйняття елемента.

В процесі обробки будь-якого графічного зображення виникає необхідність виділення його структурний елемент. Одними з основних структурних елементів є різного роду лінії, присутні майже в кожному зображенні. Лінії можуть перетинатися, розділяючись, таким чином, на сегменти і утворюючи вузли перетину. Виявлення вузлів і сегментів є важливим завданням аналізу будь-якого зображення. Результатом застосування прямолінійного методу сегментування призначений для автоматизації алгоритму знаходження вузлів і ліній на растровому зображенні, перетворюючи точки растра в координати вузлів і сегментів ліній, утворених ними.

Формування центроїдного фільтрів служить для створення масок, використовуваних при центроїдного фільтрації зображень. Центроїдного фільтрація служить для автоматизованої обробки зображень різними фільтрами для виділення осьових ліній на зображенні. Метод дозволяє виділяти ділянки (сегменти) ліній, утворених в результаті перетину різного роду кривих, а також виділяти вузли, які утворюються за рахунок цих перетинів, отримуючи координати необхідних точок і представляючи їх у вигляді ланцюгових кодів.

Одним із шляхів ефективного представлення і кодування графічного зображення є центроїдне перетворення, що використовує настроюються вікна із заданими розмірами і формою.

Для пікселя з координатами (i, j) вікно утворюється сукупністю n пікселів в його окілу:

$$w(i, j) = \left\{ (i + i_k, j + j_k) \mid k = \overline{1, n} \right\}, \quad (\text{B.63})$$

де i_k, j_k – величини зсувів пікселів вікна щодо становища центрального пікселя (i, j) .

Центроїдне перетворення зображення $I(i, j)$ у загальному випадку полягає в обчисленні вектору центроїда $(C_x(i, j), C_y(i, j))$ для кожного пікселя:

$$C_x(i, j) = \frac{\sum_{(i^*, j^*) \in w(i, j)} (i^* - i) I(i^*, j^*)}{\sum_{(i^*, j^*) \in w(i, j)} I(i^*, j^*)}, \quad (\text{B.64})$$

$$C_y(i, j) = \frac{\sum_{(i^*, j^*) \in w(i, j)} (j^* - j) I(i^*, j^*)}{\sum_{(i^*, j^*) \in w(i, j)} I(i^*, j^*)},$$

після чого формується центроїдне зображення $S(i, j)$. Для цього спочатку формується зображення $Z(i, j) = 0$, яке в подальшому модифікується. Для кожного пікселя з координатами (i, j) проводиться порівняння з порогом p :

$$\sqrt{\left(I_R(i^*, j^*) - I_R^*(i^*, j^*) \right)^2 + \left(I_G(i^*, j^*) - I_G^*(i^*, j^*) \right)^2 + \left(I_B(i^*, j^*) - I_B^*(i^*, j^*) \right)^2} \leq p \quad (\text{B.65})$$

Якщо при всіх $(i^*, j^*) \in w(i, j)$ нерівність виконана, то $Z_{R,G,B}(i, j)$ модифікується: $Z_R(i, j) = I_R^*(i, j)$, $Z_G(i, j) = I_G^*(i, j)$, $Z_B(i, j) = I_B^*(i, j)$.

При цьому

$$C_0(i, j) = Z(i, j) + 1, \text{ якщо } i = C_x(0, 0), \quad j = C_y(0, 0), \quad (\text{B.66})$$

$$C_{m+1}(i, j) = C_m(i, j) + 1, \text{ якщо } i = i^* + C_x(i^*, j^*), \quad j = j^* + C_x(i^*, j^*), \quad (\text{B.67})$$

де індекс $m = i + M$; нумерує пікселі зображення $M \times N$;

$$i^* = m - M \left[\frac{m}{M} \right], \quad j^* = \left[\frac{m}{M} \right];$$

$$\left[\frac{m}{M} \right] - \text{ціла частина числа від ділення } \frac{m}{M}.$$

В окремому випадку вікно $w(i, j)$ може мати вигляд сатиричного або столбцового інтервалу. Центроїдне перетворення має чітко вираженими селективними властивостями по відношенню до структурного елемента. Подальша обробка центроїдного зображення фільтром полягає в пороговому виділенні на центроїдному зображенні пікселів з високою яскравістю.

Метод фільтрує випадкові перешкоди і виділяє контурні лінії.

Після фільтрації центроїдне зображення обробляється в наступних процедурах:

- центроїдна релаксація (виділення кутів, кривих, кіл і їх геометричних характеристик);
- лінійне сегментування (обробка пересічних ліній, що утворюють вузли і сегменти);
- ланцюгове кодування (кодування ліній).

Формат опису сегментів ліній має наступний вигляд:

$$n_1: x_{11}, y_{11} [x_{12}, y_{12} [x_{13}, y_{13}]], \quad (\text{B.68})$$

$$n_2: x_{21}, y_{21} [x_{22}, y_{22} [x_{23}, y_{23}]], \quad (\text{B.69})$$

$$n_k: x_{k1}, y_{k1} [x_{k2}, y_{k2} [x_{k3}, y_{k3}]], \quad (\text{B.70})$$

де n_i – номер i -го сегмента лінії (ідентифікатор);

x_{i1}, y_{i1} – координати першої точки i -го сегмента лінії;

x_{i2}, y_{i2} – координати другої точки i -го сегмента лінії, вказуються в тому випадку, якщо точка (x_{i2}, y_{i2}) є вузлом;

x_{i3}, y_{i3} – координати напрямки кодування від точки (x_{i1}, y_{i1}) , вказуються в тому випадку, якщо точки (x_{i1}, y_{i1}) і (x_{i2}, y_{i2}) є вузлами.

У зображення, представленого лініями одиничної товщини, кожна точка може мати не більше двох сусідніх точок, однозначно визначають напрямок руху вздовж лінії. У зазначених на рисунку В.16а точках з'являється неоднозначність, тому помічені вгорі і внизу точки можуть бути видалені без розриву лінії.

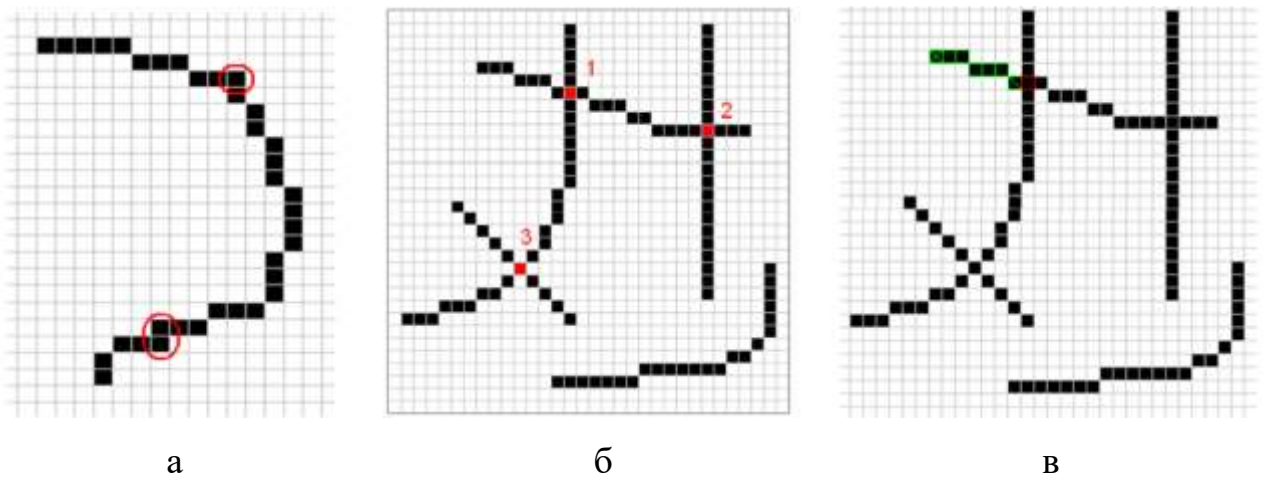


Рисунок В.16 – Варіанти перетину ліній: а) відмічені точки можна виділити, б) вузлові точки, в) сегмент з початковою і вузловою точкою

При пошуку сегментів ліній з одночасним визначенням вузлів, аналізуються точки, які підходять під опис лінії одиничної товщини. Точки, що мають більше двох сусідніх, є вузловими і розглядаються як області перетину ліній (рис.В.16б):

$$K(x_t, y_t) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 A[x_t + i, y_t + j] - [x_t, y_t], \quad (\text{B.71})$$

$$\forall x \in [1 \dots M], \forall y \in [1 \dots N], \quad (B.72)$$

$$B[x_i, y_i] = \begin{cases} n, & \text{коли } K(x_t, y_t) > 2, \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (B.73)$$

де $K(x_t, y_t)$ – масив, що визначає кількість сусідніх точок;

(x_t, y_t) – координати аналізованої точки;

M, N – розміри зображення;

B – масив вузлів розмірністю $M \times N$;

n – номер оброблюваного вузла.

Зображення не повинно містити циклічних елементів: замкнутих ліній, суцільних зафарбованих областей. Якщо при перетині ліній, точки, сусідні з вузлом, мають таке ж кількість сусідів, виникає ситуація "розмитості" вузловий точки. Для її вирішення обчислюється центр вузла, як середнє арифметичне точок, що належать вузлу. При цьому дві точки належать одному вузлу, якщо існує шлях, що з'єднує їх. Кожній одиниці зображення відповідає елемент масиву сегментів, значення якого формуються за такими правилами:

- якщо значення елемента негативне, то елемент не оброблений;
- якщо значення дорівнює нулю, то елементу не відповідає жодна з ліній сегментів;
- якщо значення позитивне, то елемент масиву є номером сегмента лінії, якому відповідав би дана точка.

Порівняння масивів точок і вузлів дозволяє виділяти ділянки ліній і фіксувати їх початок і кінець. В результаті розбиття ліній на зображенні можна виділити 11 сегментів (рис. В.17). На рисунку В.17б виділені 8 сегментів, у яких одна з крайніх точок є вузлом. На рисунку В.17в виділені 2 сегмента, крайні точки, яких є вузлами.

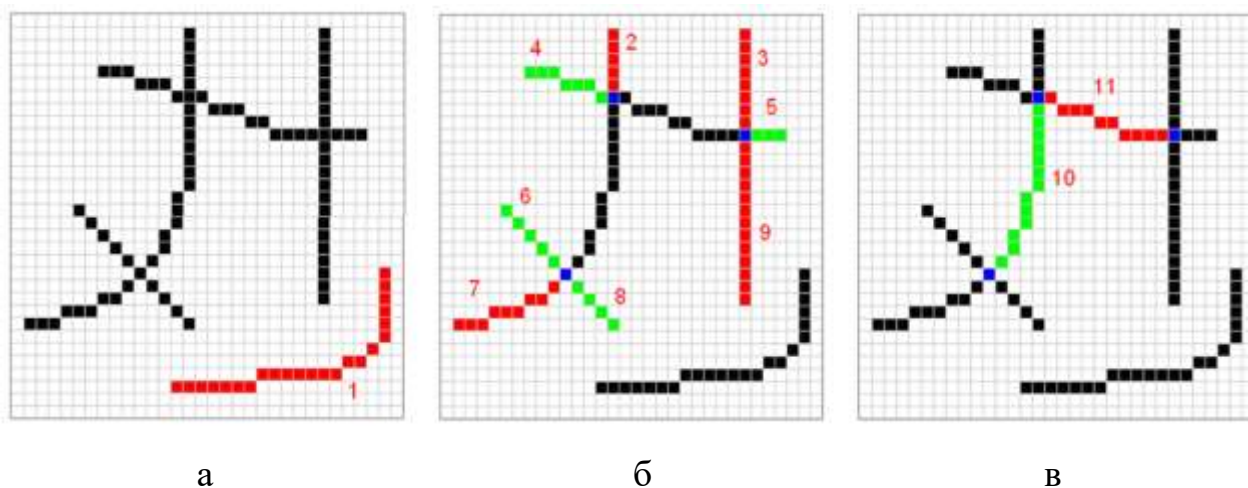


Рисунок В.17 – Сегменти зображення: а) не має перетинів, б) з одним вузлом, в) з двома вузлами

При ланцюговому кодуванні сегментів виникає невизначеність вибору напрямки кодування, для цього було прийнято рішення вказувати ще одну точку, що визначає напрямок. В ході дослідження було визначено кількість вузлів в сегментах зображення (рис. В.17): сегмент 1 – 0 вузлів; сегменти: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – 1 вузол; сегменти: 10,11 – 2 вузла. Метод здійснює аналіз структури і обробку різного типу зображень, яка включає фільтрацію, дослідження структурних елементів, сегментування і кодування отриманих даних про зображення [94], [155]–[159].

В.6.11 Метод з'єднання граничних точок шляхом визначення їх розташування на кривій спеціального виду

При великому розмаїтті методів та алгоритмів обробки зображень один і той же метод може бути ефективним для одного класу зображень, і не задовольняти заданим критеріям для іншого. Розробка нових методів сегментування зображень, попереднє визначення критеріїв якості їх роботи та експериментальні оцінки є обов'язковою складовою частиною процесу

розробки програмного модуля автоматичної векторизації зображень [94], [155]–[159]. Зв'язування елементів краю, усунення можливих розривів і видалення несумлінних переходів здійснюється з використанням графових моделей. Вузлами графа або станами є елементи краю, визначені двома сусідніми одиничними елементами зображення. Для зв'язування елементів контурів використовуються наступні методи: методи – Прима і Крускала для побудови основного дерева мінімальної ваги; методи Дейкстри і динамічного програмування для вибору найкоротшого шляху на графі.

Розглянемо метод з'єднання граничних точок шляхом визначення їх розташування на кривій спеціального виду. Нехай на площині xu образу дано n точок, потрібно знайти множини точок, що лежать на прямих лініях. Одне з можливих рішень полягає в побудові всіх ліній, що проходять через кожен пару точок, а потім в знаходженні всіх підпоследовностей точок, близьких до певних ліній. Задача, пов'язана з

цією процедурою, полягає в знаходженні $\frac{n(n-1)}{2} = n^2$ ліній і далі в

здійсненні $\frac{n \lfloor \frac{n(n-1)}{2} \rfloor}{2} = n^3$ порівнянь кожної точки з усіма лініями. Дану

задачу можна вирішити, використовуючи перетворення Хоуга. Розглянемо точку (x_i, y_i) і загальне рівняння прямої лінії $y=ax_i+b_i$. Є нескінченне число ліній, що проходять через точку (x_i, y_i) , але всі вони задовольняють рівнянню $y=ax_i+b_i$ при різних значеннях a і b . Запишемо це рівняння у вигляді $b=-ax_i+y_i$ і розглянемо площину ab (простір параметрів), тоді отримаємо рівняння однієї лінії для фіксованої пари чисел (x_i, y_i) . Друга точка (x_j, y_j) також має в просторі параметрів пов'язану з нею лінію, яка перетинає іншу лінію, пов'язану з точкою (x_i, y_i) в точці (a', b') . Значення a' і b' – параметри лінії, на якій розташовані точки (x_i, y_i) і (x_j, y_j) в площині xu . Фактично всі точки, розташовані на цій лінії, в просторі параметрів матимуть лінії перетину в точці (a', b') . При цьому здійснюється поділ простору параметрів на так звані збираючі елементи, для яких (a_{\max}, a_{\min}) і

(b_{\max}, b_{\min}) – допустимі величини параметрів ліній. Збираючий елемент $A(i, j)$ відповідає площині, пов'язаній з координатами простору параметрів (a_i, b_j) (спочатку ці елементи дорівнюють нулю). Тоді для кожної точки (x_k, y_k) в площині образу вважаємо параметр a рівним кожному з допустимих значень на осі a і обчислюємо відповідне b , використовуючи рівняння $b = -x_k + y_k$. Отримане значення b округляється до найближчого допустимого значення на осі b . Якщо вибір a_p призводить до обчислення b_q , вважаємо $A(p, q) = A(p, q) + 1$. Після завершення цієї процедури значення M в елементі $A(i, j)$ відповідає M точкам в площині x, y , лежачим на прямій $y = a_i x + b_j$. Точність розташування цих точок на одній прямій залежить від числа розбиття площині ab . Якщо вісь a розбиваємо на K частин, тоді для кожної точки (x_k, y_k) отримуємо K значень b , відповідних K можливих значенням a . Оскільки є p точок образу, процес складається з $p \times K$ обчислювальних операцій. Проблема, пов'язана з поданням прямої лінії рівнянням $y = ax + b$ полягає в тому, що обидва параметри a і b прагнуть до нескінченності, якщо лінія приймає вертикальне положення. Для усунення цієї проблеми використовується нормальне представлення прямої лінії у вигляді $x \cos q_i + y \sin q_i = r_i$. В даному випадку для побудови таблиці збираючих елементів замість прямих ліній маємо синусоїдальні криві в площині qr . M точок, що лежать на прямій $x \cos q_i + y \sin q_i = r_i$, відповідають M синусоїдальним кривим, які перетинаються в точці (q_i, r_i) простору параметрів. Якщо використовується метод зростання q і знаходження для нього відповідного r , процедура дає M точок в збираючий елемент $A(i, j)$, пов'язаний з точкою (q_i, r_i) . Цей метод відноситься до послідовних і його недолік в тому, що помилка, допущена в середині краю, призводить до великої похибки в кінці, так як алгоритм не передбачає зворотного руху.

Важливим підходом для опису виду структури плоскої області є її представлення у вигляді графа. У багатьох випадках для цього визначається схема (скелет) області за допомогою проріджуючих (скорочуючих) алгоритмів. У графі може існувати вершина, яка

називається точкою зчленування, або розділяючою вершиною, видалення якої разом з інцидентними їй ребрами роз'єднує решта вершини. На рис. В.18 точками зчленування є вершини з номерами 4, 5 і 7.

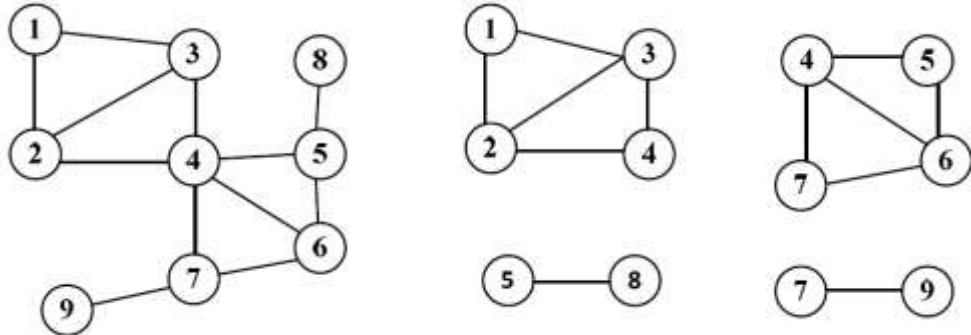


Рисунок В.18 – Розділяючий граф і його двозв'язані компоненти

Максимальний двозв'язаний підграф (без точок зчленування) є двозв'язаним компонентом. Нехай $G=(V, E)$ зв'язний неорієнтований граф. Вузол a називають точкою зчленування графа G , якщо існують такі вузли v і w , що v, w і a різні і всякий шлях між v і w містить вузол a . Інакше кажучи, a – точка зчленування графа G , якщо видалення вузла a розщеплює G не менше ніж на дві частини. Граф G називається двозв'язним, якщо для будь-якої трійки різних вузлів v, w, a існує шлях між v і w , який не містить a . Таким чином, неорієнтований зв'язний граф двозв'язний тоді і тільки тоді, коли в ньому немає точок зчленування. Каркас (V, T) зв'язного неорієнтованого графа $G=(V, E)$ містить $(N-1)$ ребро, де N – кількість вершин G . Кожне ребро, що не належить T , тобто будь-яке ребро з $E-T$, породжує в точності один цикл при додаванні його до T . Оскільки каркас складається з $(N-1)$ ребра, в фундаментальній множині циклів графа G щодо будь-якого каркаса є $(M-N+1)$ циклів, де M – кількість ребер в G . Для знаходження контурного каркаса (зтягуючого дерева) графової структури використовуються методи пошуку в глибину і в ширину. При пошуку в глибину аналізується вершина u , суміжна з v . Якщо на черговому кроці у вершини q немає вершин суміжних з нею і не

розглянутих раніше, то здійснюється повернення з вершини q до вершини, яка була до неї. При пошуку в ширину на кожному кроці розглядаються всі вершини, пов'язані з поточною. Граф і його каркаси, побудовані методами пошуку в глибину і в ширину, показані на рис. В.19 (в дужках вказана черговість перегляду вершин графа).

Для контурного сегментування зображень пропонуються методи побудови ациклічних подграфів: Крускала, Прима, Дейкстра [171]. Зазвичай в методах теорії графів вводиться функціонал "вартості" розрізу, що відображає якість отриманого сегментування. При цьому завдання розбиття зображення на однорідні області зводиться до оптимізаційної задачі пошуку розрізу мінімальної вартості на графі.

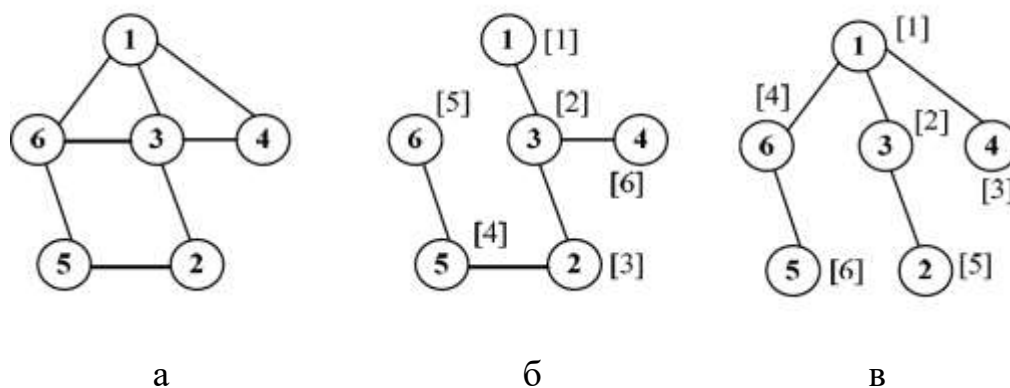


Рисунок В.19 – Граф і його контурні каркаси, побудовані методами пошуку в глибину і в ширину: а) початковий граф, б) пошук в глибину, в) пошук в ширину

Такий підхід дозволяє крім однорідності кольору і текстури сегментів управляти також формою сегментів, їх розміром, складністю кордонів і т.п. При цьому вводиться нормалізований функціонал якості розрізу так, щоб одночасно максимізувати відмінність точок між класами і мінімізувати відмінності точок всередині класу. Оптимізація нормалізованого функціоналу зводиться до задачі пошуку власних значень матриці попарних відстаней між усіма точками зображення. Для

сегментування зображення на дві частини досить знайти друге за величиною власне значення такої матриці. Нехай $V_1 = (i_1, j_1)$ – вершина графу градієнтного зображення, тоді вершина $V_2 = (i_2, j_2)$, яка належить контурному зображенню, причому вершина V_1 належить області $\{(i, j) \mid |i_2 - i| \leq \varepsilon, |j_2 - j| \leq \varepsilon\}$ вершини V_2 . Введемо чисельну характеристику $c(i, j) = \frac{1}{G_r(i, j)}$, яку будемо називати вартістю вершини графу градієнтного зображення, а $G_r(i, j)$ – функцією модулю градієнта зображення. Далі розглянемо дві вершини V_1 і V_k і припустимо, що ці вершини належать контуру. Вочевидь, що любий шлях, який об'єднує данні вершини можливо розглядати у якості апроксимації даного гіпотетичного контуру. Довжиною (вартістю) шляху $(V_1, V_2, \dots, V_m, V_k)$ буде сума $D = c(V_k) + \sum_{i=1}^m c(V_i)$. Найбільш точною апроксимацією контуру (кривої), що з'єднує вершини V_1 і V_k буде шлях, що має найменшу вартість. З урахуванням цього можна сформулювати наступну оптимізаційну задачу вибору контурного зображення. Найбільш оптимальне контурне зображення є частковим підграфом градієнтного зображення, що має найнижчу вартість із всіх допустимих підграфів. Вартість підграфа визначається як сума вартостей його вершин. Відстанню $d_g(V_1, V_2)$ між вершинами V_1 і V_2 на графі градієнтного зображення називається вартістю шляху, якій з'єднує ці вершини. Аналогічно визначається і довжина $d_c(V_1, V_2)$ на графі контурного зображення. Для того щоб графі контурного і градієнтного зображення мали приблизно однакові метричні характеристики, необхідно, щоб відстань, що обчислюється по графу контурного зображення, було приблизно таке ж, як і на графі градієнтного зображення, тобто $d_c(V_1, V_2) \approx d_g(V_1, V_2)$ для вершин V_1 і V_2 контурного зображення. Для всіх пар V_1 і V_2 близько розташованих вершин $V_1 = (i_1, j_1)$

і $V_2 = (i_2, j_2)$, які задовольняють умові $\max\{|i_1 - i_2|, |j_1 - j_2|\} \leq \varepsilon + 1$,

необхідно перевірити справедливість нерівності $\rho = \frac{d_c(V_1, V_2)}{d_g(V_1, V_2)} \leq \sqrt{2}$. Якщо

це не виконується, то для кожної пари вершин V_1 і V_2 необхідно додати вершини, які належать цьому шляху до графу G_c .

Пошук на графі шляхів з найменшою вартістю передбачає подання ділянок контуру у вигляді вершин графа, які відповідають остовному підграфу. Розроблений метод добре працює в присутності шуму. Нехай A , B і C – внутрішні складові, причому B і C мають особливі відстані від центрального відліку $S_{0,0}$. Максимальна вага буде у доданка A , далі в порядку убутання – у B і C . Перетасовуючи коефіцієнти для відліків, можна отримати наступний метод згладжування (рис. В.20) [155]–[159].

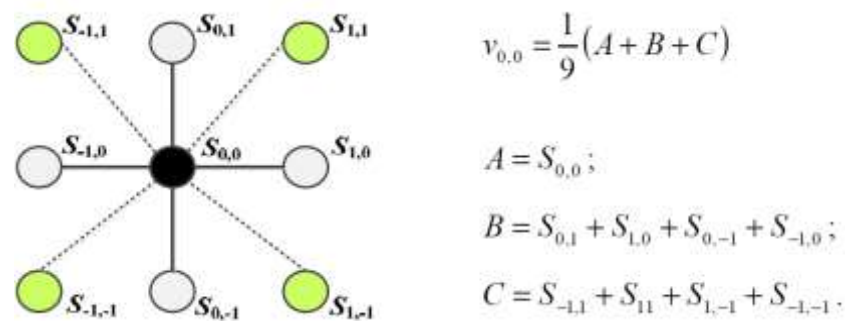


Рисунок В.20 – Схема сегментування зображення по сусіднім точкам

Список використаних джерел у додатку наведено у повному списку використаних джерел під номерами [47], [69], [94], [103], [155]–[159].