

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

ГЮК.ХХХХХХ.001ПЗ

(позначення документа)

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НА ОСНОВІ СУМІСНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Виконав:

студент 6 курсу, групи ЕПШм-19-

Клімов Єгор Єгорович

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 «Електроніка»,

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади

та пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник професор кафедри МЕЕПП

Стрілкова Т.О.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І.М

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Клімову Єгору Єгоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка та дослідження системи розпізнавання на основі сумісних алгоритмів обробки багатоспектральних зображень»
затверджена наказом по університету від _____ 2020 р. № _____
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 12 _____ 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи Отримати для серії знімків однієї місцевості але різних спектральних діапазонів комбінації. зображень, які поліпшають зорове сприйняття: зелених зон, ґрунту, водоймищ (рік, озер та ін).
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
 - 1) Огляд багатоспектральних систем
 - 2) Методи комплексування багатоспектральних зображень
 - 3) Розробка ефективного алгоритму комплексування цифрових багатоспектральних зображень
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація(слайди)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання	02.08.2020	
2	Формування теоретичної частини роботи	20.08.2020	
3	Розробка алгоритму системи обробки багатоспектральних зображень	12.09.2020	
4	Створення програми	03.10.2020	
5	Моделювання роботи програми	15.10.2020	
6	Написання пояснювальної записки	12.11.2020	
7	Нормоконтроль	04.12.2020	
8	Здача роботи на кафедрі	10.12.2020	

Дата видачі завдання _____ 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. каф. МЕЕПІ Стрілкова Т.О
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи бакалавра: 50 с., 20 рис., 23 формули, 16 джерел, 2 додатка

Об'єкт дослідження – алгоритми комплексування цифрових багатоспектральних зображень, отриманих від декількох датчиків в різних діапазонах електромагнітного випромінювання.

Мета роботи – підвищення ефективності обробки даних в багатоканальних системах дистанційного зондування земної поверхні за рахунок гнучкого алгоритму комплексування багатоспектральних зображень.

Метод дослідження - При вирішенні поставлених завдань в роботі використовувалися сучасні методи цифрової обробки зображень, математичного аналізу, математичної статистики, лінійної алгебри, теорії інформації. Активно використовувалися методи комп'ютерного моделювання.

Розглядається задача об'єднання різноспектральних цифрових зображень, що формуються мультиспектральною відеосистемою для відображення на одному кольоровому дисплеї за умови повного збереження інформації, що міститься в відеоканалів. Пропонований спосіб комплексування зображень заснований на лінійному відображенні сукупного спектрального діапазону відеосистеми на видимий людиною діапазон.

Показано, що для повного збереження інформації при комплексуванні необхідно, щоб мірність колірному простору була не нижче числа відеоканалів.

АЛГОРИТМ, ДІАПАЗОН, ЗОБРАЖЕННЯ, КОЛІР,
КОМПЛЕКСУВАННЯ, МЕТОД, ОБРОБКА, СИСТЕМА, СПЕКТР,
СУПУТНИК.

ABSTRACT

Explanatory note of the bachelor's attestation work: 50 pp., 20 figs., 23 formulas, 16 sources, 2 appendices

The object of research - algorithms for complexing digital multispectral images obtained from several sensors in different ranges of electromagnetic radiation.

The purpose of the work is to increase the efficiency of data processing in multichannel systems of remote sensing of the earth's surface due to a flexible algorithm for complexing multispectral images.

Research method - In solving the problems in the work used modern methods of digital image processing, mathematical analysis, mathematical statistics, linear algebra, information theory. Computer modeling methods were actively used.

The problem of combining multispectral digital images formed by a multispectral video system for display on a single color display under the condition of complete preservation of the information contained in video channels is considered. The proposed method of image integration is based on the linear mapping of the total spectral range of the video system to the visible range.

It is shown that in order to fully preserve the information during integration, it is necessary that the dimension of the color space is not less than the number of video channels.

ALGORITHM, COLOR, COMPLEXING, IMAGE, METHOD, PROCESSING, RANGE, SATELLITE, SPECTRUM, SYSTEM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД СИСТЕМ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	11
1.1. Класифікація систем дистанційного зондування поверхні землі ...	11
1.1.1 Наземне спостереження	12
1.1.2 Супутникове спостереження	13
1.1.3 Авіаційне спостереження.....	14
1.2 Методи отримання багатоспектральних зображень земної поверхні	17
1.3 Багатоспектральні методи дослідження зображень	19
1.4 Багатоспектральні системи комплексування зображень	24
2 МЕТОДИ КОМПЛЕКСУВАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	27
2.1 Загальний підхід до комплексування зображень.....	27
2.2 Метод максимуму.....	31
2.3 Метод маски	32
2.4 Метод усереднення	33
2.5 Метод ступеневого перетворення	33
2.6 Метод черезрядкового комплексування	34
2.7 Метод вагової функції	35
2.8 Реалізація методів комплексування зображень	36
3 РОЗРОБКА СУМІСНОГО АЛГОРИТМУ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЦИФРОВИХ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	40
3.1 Попередня обробка	40
3.2 Мінімізація обсягу даних	40

3.3 Програмна реалізація.....	42
3.4 Моделювання роботи системи комплексування багатоспектральних зображень земної поверхні	43
ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	47
ДОДАТОК А.....	49
ДОДАТОК Б	50

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

NDVI – normalized difference vegetation index (вегетаційний індекс)

NDWI – Normalized difference water index (водний індекс)

NIR – near infrared (ближній інфрачервоний)

RED – червоний (діапазон оптичного спектру)

SWIR – shortwave infrared (короткохвильовий інфрачервоний)

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

БЛА – безпілотний літальний апарат

БОЕС – багатоспектральна оптико-електронна система

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЗЗР – Засоби захисту рослин

ІЧ – інфрачервоний (спектр)

ЛА – літальний апарат

НВЧ – надвисокочастотне випромінювання

НП – напрямок польоту

ОЭС – оптико-електронна система

ПЗЗ – прилад із зарядним зв'язком

ПОВ – приймач оптичного випромінювання

ТВ – телевізійне (зображення)

ТПВ – тепловізор, тепловізійне (зображення)

ВСТУП

Розширення кола завдань, що вирішуються методами дистанційного зондування, призвело до активного розвитку багатоканальних систем моніторингу земної поверхні, які передбачають спільне використання різноманітних приладів і датчиків: оптичних, інфрачервоних, мікрохвильових і ін. Такі системи моніторингу дозволяють отримувати інформацію про спостерігається сцені в різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Дані зондування надходять у вигляді цифрових багатоспектральних зображень для обробки на ЕОМ, тому проблематика дистанційного зондування тісно пов'язана з цифровою обробкою зображень. Яскравість, розміри і форма об'єктів на зображеннях однієї і тієї ж сцени можуть помітно відрізнятися при реєстрації в різних діапазонах електромагнітного випромінювання в залежності від властивостей поверхні об'єктів, а також характеристик середовища. Щоб витягти більше інформації з сукупності отриманих зображень, вдаються до процедури їх комплексування. Комплексуванням зображень називається процес об'єднання інформації від декількох зображень в одне більш інформативне, ніж будь-яка з вихідних зображень. Комплексування зображень є складним процесом, який включає в себе отримання вихідних знімків, їх попередню обробку, оцінку інформаційного змісту, вибір кількості вимірювальних каналів, а також саму процедуру комплексування. Основними проблемами, що виникають при комплексуванні, є низька контрастність знімків, високий ступінь надмірності інформації, і, як наслідок, великий обсяг даних, що підлягають обробці. Існуючі на сьогоднішній день алгоритми комплексування не завжди відповідають зазначеним вимогам, тому розробка ефективних алгоритмів комплексування зображень, що дозволяють уявити вхідну інформацію в найбільш інформативному вигляді, є актуальним завданням і визначає необхідність проведення подальших досліджень.

Мета роботи – підвищення ефективності обробки даних в багатоканальних системах дистанційного зондування земної поверхні за рахунок гнучкого алгоритму комплексування багатоспектральних зображень.

При вирішенні поставлених завдань в роботі використовувалися сучасні методи цифрової обробки зображень, математичного аналізу, математичної статистики, лінійної алгебри, теорії інформації. Активно використовувалися методи комп'ютерного моделювання.

Об'єктом дослідження є алгоритми комплексування цифрових багатоспектральних зображень, отриманих від декількох датчиків в різних діапазонах електромагнітного випромінювання.

Предметом дослідження є розробка, модифікація і підвищення ефективності алгоритмів комплексування цифрових багатоспектральних зображень.

1 ОГЛЯД СИСТЕМ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1. Класифікація систем дистанційного зондування поверхні землі

У міру розвитку техніки і зростання потреб в оперативному моніторингу все більш широке застосування для спостереження за різними об'єктами і явищами на поверхні Землі знаходять дистанційні методи дослідження. Їх найважливішою особливістю є можливість отримання інформації про параметри досліджуваного об'єкта на відстані шляхом вимірювань деяких пов'язаних з параметрами об'єкта величин, таких, як, наприклад, інтенсивність електромагнітної енергії, випромінюваної досліджуванним об'єктом в різних діапазонах довжин хвиль.

Головне достоїнство дистанційних методів дослідження полягає у відсутності необхідності безпосереднього контакту вимірювальних засобів з досліджуваною середовищем, що дозволяє істотно спростити і здешевити дослідження.

До теперішнього часу можливості методів дистанційного зондування розкриті не повністю. Відомо, спектральні характеристики випромінювання об'єктів можуть помітно відрізнятися при реєстрації в різних діапазонах електромагнітного випромінювання в залежності від властивостей поверхні об'єктів, а також характеристики середовища. Щоб збільшити ймовірність надійного розрізнення об'єктів, використовують принцип одночасної зйомки земної поверхні в декількох спектральних діапазонах. Як датчики використовуються оптичні електронні системи (ОЕС) із зарядним зв'язком (ПЗЗ). Тут можна виділити три основні способи організації побудови систем: наземне, авіаційне та супутникове спостереження [1].

1.1.1 Наземне спостереження

Найбільш поширеним засобом наземного спостереження є використання спеціалізованих конструкцій - вишок. Такий метод застосовується вже понад сто років, і якщо раніше стеження за територією здійснювався візуальними здібностями людини, то сучасні комплекси реалізуються на основі ОЕС. Вишки можуть бути обладнані різними комплексом датчиків систем моніторингу спрямованих як на вирішення завдань виявлення пожеж, так і суміжних завдань. Для забезпечення огляду всієї площі прилеглої до вишки території, система встановлюється на поворотний механізм.

Як вишка (рис. 1.1) може бути використана будь-яка висотна споруда з наявністю необхідного електроживлення (вишки провайдерів зв'язку, освітлення, телевежі і т.д.).



Рисунок 1.1 – Вишка-ретранслятор

При правильному розміщенні обладнання відеоспостереження система дозволяє здійснювати моніторинг території на відстані до 35 км від точки моніторингу. З високою оперативністю виявляти лісові пожежі, визначати їх точний напрям до 1 градуса і координати до 250 м місця загоряння. Однак такий метод має цілий ряд недоліків:

- висока вартість обладнання однієї вишки;
- дальність дії комплексу не перевищує 30 км.
- для ефективного використання на великій ділянці лісового масиву потрібне створення розподіленої мережі вишок з встановленим обладнанням.

1.1.2 Супутникове спостереження

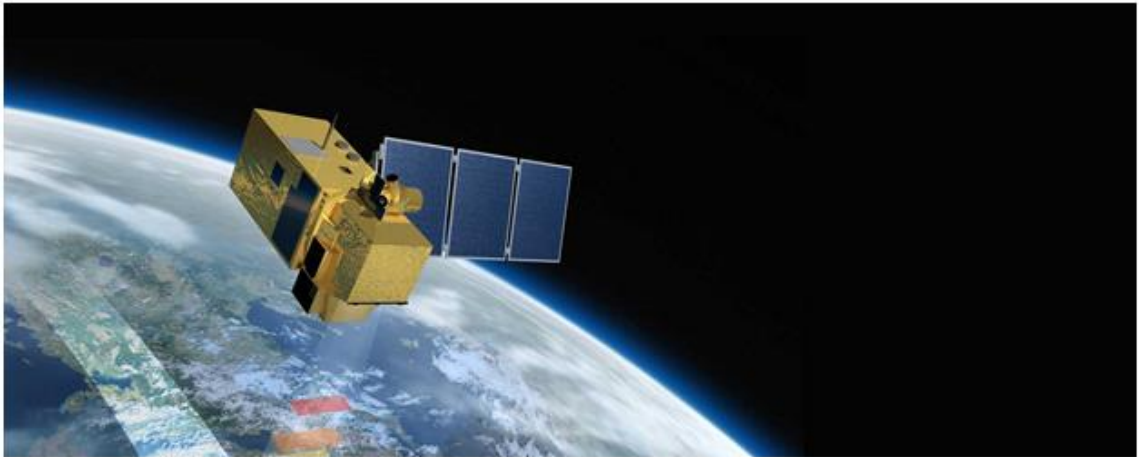
Супутникове спостереження полягає в використанні інформації, одержуваної з штучного супутника Землі, що виконує постійний моніторинг земної поверхні. Така система зазвичай формується на базі транснаціонального науково-дослідного супутника, і вирішує широкий спектр завдань (контроль за зміною клімату, забрудненням повітря, моніторинг фонового випромінювання Землі і т.д.). До її складу входить устаткування, що дозволяє отримувати знімки в різних діапазонах спектру випромінювання.

Супутник Sentinel 2 (рис. 1.3а) реєструє випромінювання в 13 спектральних діапазонах, просторовою роздільністю 10 м, 20 м, 60 м і смугою огляду 290 км [2]. Супутник Landsat 8 (рис. 1.3б) 9 спектральних каналів, просторовим дозволом 15 – 30 м для видимого та ближнього ІЧ, 100 м для дальнього ІЧ та смугою огляду 185 км) [3]. Кожна з цих супутникових систем дозволяє здійснювати оперативний контроль великих територій з отриманням даних не частіше 6 разів на добу, уточнені супутникові дані надходять і обробляються з затримкою до 10 днів [4]. Станом на сьогоднішній день ОЕС, встановлені на супутниках, здатні реєструвати загоряння на площі 0,1-50 га. Точну цифру назвати неможливо, так як чутливість застосовуваних алгоритмів сильно залежить не тільки від інтенсивності горіння, але і від метеоумов.

Недоліки супутникового спостереження:

- мала оперативність процесу моніторингу та передачі даних;

- велика площа пожежі, необхідна для його виявлення;
- обмежена видимість при поганих погодних умовах, високу хмарність і задимлення;
- потрібні високі витрати на прийом і обробку, одержуваних з супутника, великого обсягу даних.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Супутники: а – Sentinel 2; б– Landsat 8

1.1.3 Авіаційне спостереження

Одним з широко використовуваних і ефективних методів виявлення і дослідження території є авіаційне патрулювання, яке здатне при дотриманні регламенту польотів виявляти лісові пожежі та ін. стихійні катастрофи на площі, що дозволяє ліквідувати цю катастрофу на мінімальних площах [5, 6]. Конструкція літального апарату в більшості випадків дозволяє нести на борту габаритні ОЕС видимого, ІЧ і мікрохвильового діапазонів в якості інструментальних засобів розвідки і діагностики катастроф, що значно підвищує ефективність такого виду спостереження. Основною перевагою даного методу є можливість моніторингу будь-якої навіть найвіддаленішої та дикої території. Основним недоліком є висока вартість льотної години літака. Використання літальних апаратів вимагає наявності обладнаної робочої злітно-посадкової смуги. Крім цього, необхідно дотримуватися жорсткий графік руху повітряного транспорту.

На території України авіаційне спостереження за лісовим господарством здійснюється за допомогою літаків Ан-2, Ан-30, Іл-18 та вертольотів Мі-8Т, Ка-26. Застосування таких носіїв вимагають високих економічних витрат на обслуговування і заправку. У зв'язку з цим останнім часом стали активно вестися розробки в пошуку альтернативних методів авіаційного спостереження без застосування традиційної авіації в рішенні задач лісового моніторингу. Найбільші успіхи були продемонстровані безпілотними літальними апаратами (БПЛА) і аеростатні комплексами.

Успіхи в розробці БПЛА дає можливість проектувати літальні засоби під конкретні спеціалізовані завдання, що дозволяє формувати єдиний комплекс з набором апаратів різного класу і типу.

Можна виділити наступні переваги БПЛА перед супутниковим і традиційним авіаційним наглядом:

– БПЛА дозволяє проводити моніторинг на висотах від 10 до 750 м. В результаті, маловисотна зйомка дозволяє отримати високий дозвіл на місцевості;

– Дозволяє знімати під кутом до горизонту, що неможливо при космічній моніторингу, і досить складно при традиційній аерозйомці.

– Можливість створення панорамних знімків і детальна зйомка невеликих об'єктів. Технологія дозволяє проводити аерофотозйомку невеликих об'єктів і малих майданчиків там, де зробити це іншими видами аерофотозйомки абсолютно нерентабельно, а в ряді випадків і технічно неможливо;

– Можливість вибору погодних умов і часу доби для проведення аерофотозйомки – супутникова і традиційна аерофотозйомка проводяться без урахування бажаного часу доби і погодних умов.

– Оперативність – весь цикл, від виїзду на зйомку до отримання кінцевих результатів займає кілька годин;

– Низька вартість – в кілька разів (до 10) дешевше традиційних методів аерофотозйомки;

– Не вимагає складної процедури дозволів та погодження польотів.

Варто зазначити, що радіус використання БПЛА обмежений по дальності дії радіоканалу управління. Для БПЛА середнього радіусу дії вона становить до 1200 км, що дозволяє здійснювати авіапатрулювання лісових ділянок розмірами близько 14,5 млн. Га.

Перспективи використання БПЛА в різних завданнях залучили до розробок безліч зарубіжних компаній. Тут можна виділити розробку компанії «ZALA AERO GROUP» (РФ) ZALA 421-16E-Ф (рис1.2). Дана системи дозволяє здійснювати політ в автоматичному чи напівавтоматичному режимі на відстань до 1000 м і висоті від 50 до 1000 м, максимальна корисне навантаження до 5 кг [7].



Рисунок 1.2 – Безпілотний літальний апарат ZALA 421-16E-Ф

1.2 Методи отримання багатоспектральних зображень земної поверхні

Дистанційне зондування Землі засноване на вимірі з аерокосмічних апаратів енергетичних і спектральних характеристик спостерігаємої сцени. З цією метою на супутниках і літаках встановлюються пристрої для сканування, які здійснюють зйомку в різних спектральних діапазонах, після чого цифрова інформація передається на наземні пункти прийому і обробки [5]. напрямок польоту (НП) ЛА НП антена об'єктив кут огляду α , центр прийому смуга огляду γ кадрова розгортка

Багатоспектральний принцип зйомки заснований на інтегруванні відбиття від поверхні Землі електромагнітної енергії в декількох дотичних діапазонах

Зображення ділянки земної поверхні у видимому, інфрачервоному і міліметровому діапазонах довжин хвиль приймається відповідно НВЧ-радіолокатором бічного огляду 1, тепловізором 2 і відеокамерою 3 (рис. 1.4). Кожне зображення складається з зображення ділянки місцевості і перешкод (хмари, спотворення оптики і ін.). Кадрова розгортка одержуваного зображення уздовж осі здійснюється за рахунок руху літального апарату (ЛА). При цьому скануючий промінь переміщається по підстильній поверхні

в поперечному щодо польоту напрямку. Основними параметрами датчиків є смуга огляду і роздільна здатність на місцевості, яка вимірюється в метрах або кілометрах.

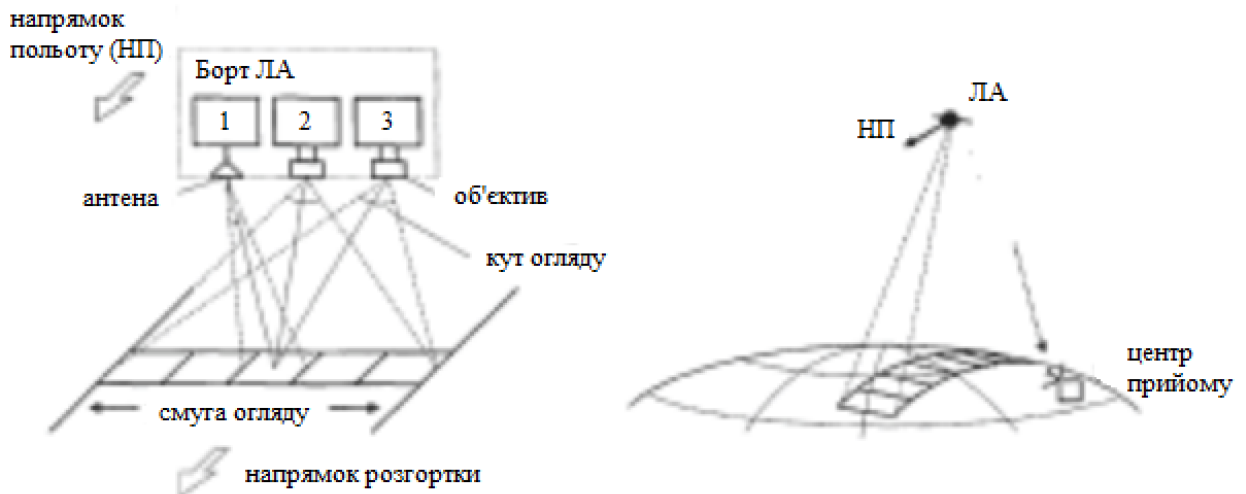


Рисунок 1.4 - Принцип формування зображень.

Двовимірні цифрові зображення з виходу цих пристроїв надходять на передавальний блок телеметрії, звідки в реальному часі передаються на наземну станцію (центр), де відбувається їх обробка за допомогою ЕОМ [8].

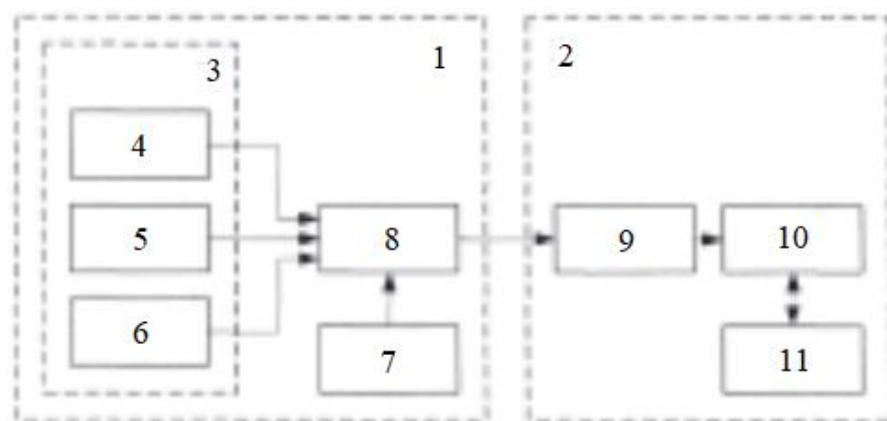


Рисунок 1.5 – Структурна схема вимірювальної системи

Структурна схема комплексної системи моніторингу приведена на рис. 1.5. Система складається з вимірювальної станції 1 і наземної станції обробки

інформації 2. Вимірювальна станція може бути встановлена, наприклад, на вишку, літак цивільної авіації, безпілотний літальний апарат, штучний супутник Землі. Вимірювальна станція складається з комплексу 3, що включає в себе відеокамеру 4, тепловізор 5 і пасивний радіолокатор бокового огляду 6, а також з приймача системи супутникової навігації 7 і передавача системи зв'язку 8. Наземна станція обробки інформації включає в себе приймач системи зв'язку 9, електронну обчислювальну машину 10 і сховище даних 11.

Радіометр, тепловізор і відеокамера переводять розподіл яскравості зображення в електричні сигнали і далі через АЦП в цифрові коди. Введення зображень в ЕОМ неминуче пов'язаний з дискретизацією зображень по просторовим координатам x і y і квантуванням значення яскравості в кожній дискретній точці.

Підсумком отримання зображень є запис в пам'ять ЕОМ файлу з піксельним зображенням, який експортується в базу даних програми тематичної обробки і призначений для подальшого аналізу.

1.3 Багатоспектральні методи дослідження зображень

Спектр випромінювання багатьох природних об'єктів лежить в досить широкому діапазоні частот, тому розрізнити природні об'єкти між собою з достатньою часткою ймовірності, проводячи зйомку в одному діапазоні частот, не представляється можливим. Найбільш ефективним шляхом подолання цього недоліку є використання методу багатоспектрального моніторингу, який надає можливість надійного розрізнення об'єктів за рахунок проведення досліджень об'єкта в різних діапазонах довжин хвиль [1].

Як приклад розглянемо зображення зняте 9 червня 2020 року, з супутника Sentinel 2 (запущений Європейським космічним агентством (ESA) у рамках програми «Коперник» для здійснення дистанційного спостереження и

підтримки таких сервісів, як моніторинг лісів, фіксування змін покриттв Землі, відстеження наслідків стихійних лих.). Sentinel 2 є одним з найбільш популярних на сьогоднішній день супутників дистанційного зондування, за рахунок надання багатоспектральних зображень.

У Sentinel 2 зображення проходить через 13 роздільних лінійок сенсорів (рис. 1.6, рис. 1.7), кожна з яких працює в своєму діапазоні. Спільне використання отриманих знімків розширює можливості вимірювання характеристик покриву Землі при подальшій обробці даних

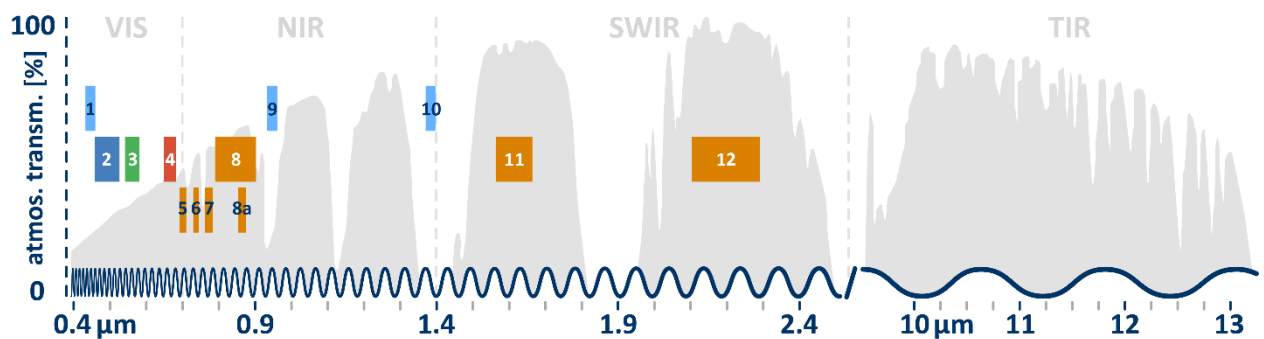


Рисунок 1.6 – Спектральні діапазони супутника Sentinel 2

Смуги Sentinel-2	Центральна довжина хвилі (μm)	Роздільна здатність (м)	Ширина смуги (нм)
Смуга 1 — Прибережні аерозолі	0.443	60	20
Смуга 2 — Синій	0.490	10	65
Смуга 3 — Зелений	0.560	10	35
Смуга 4 — Червоний	0.665	10	30
Смуга 5 — Вегетаційний червоний край	0.705	20	15
Смуга 6 — Вегетаційний червоний край	0.740	20	15
Смуга 7 — Вегетаційний червоний край	0.783	20	20
Смуга 8 — NIR	0.842	10	115
Смуга 8A — Вузький NIR	0.865	20	20
Смуга 9 — Водяна пара	0.945	60	20
Смуга 10 — SWIR — Cirrus	1.375	60	20
Смуга 11 — SWIR	1.610	20	90
Смуга 12 — SWIR	2.190	20	180

Рисунок 1.7 – Характеристика спектральних діапазонів супутника Sentinel 2

Серед 13 діапазонів короткохвильові (1-4) відповідають видимому спектру, інші чутливі до областей спектру, які людське око не розрізняє.

Повнокольорове зображення це тільки половина того, що Sentinel 2 насправді сприймає.

Для прикладу візьмемо знімки зроблені 4 серпня 2020 поблизу с. Рогань Харківської області і розглянемо їх окремо.

Діапазон 1 (рис 1.7) чутливий к темно-синім і фіолетовим кольорами. Синій колір важко розрізнити з космосу, так як він добре розсіюється на пилу і частинках води в повітрі, а також на самих молекулах повітря. Це одна з причин, по яким вилучені предмети (наприклад гора на горизонті) мають блакитний відтінок, а також чому небо блакитне. Так само як і ми бачимо синю димку, коли дивимося в небо сонячним днем, так і Sentinel 2 дивиться на нас через те же саме повітря. Ця частина спектра погано реєструється з достатньою точністю, щоб бути хоч трохи корисною, і Діапазон 1 представляє єдиний в своєму роді інструмент, що надає відкриті дані в такому дозволі. Це одна з речей, які роблять цей супутник особливим. Цей діапазон також називається прибережним або аерозольним, згідно з двома своїми основними видами застосування: в ньому видно мілководді і найдрібніші частинки пилу і диму в повітрі

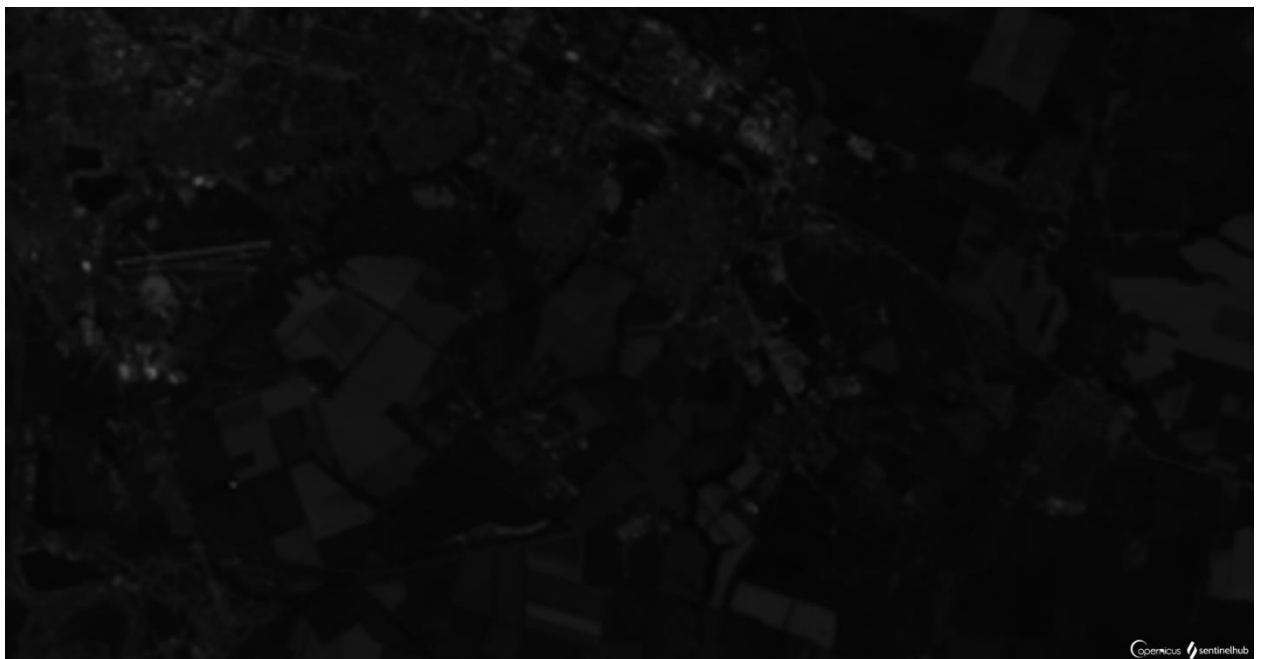


Рисунок 1.7 – Зображення в Діапазоні 1 супутника Sentinel 2

Діапазони 2, 3 і 4 (рис 1.8) являють собою видимі синій, зелений і червоний спектри. Наземні об'єкти відображаються в кольорах, схожих з такими при реальному зоровому сприйнятті людини. Ця комбінація є базовою при будь-якому картированні. Вона також дає максимально корисну інформацію по осадовим акумулятивним поверхонь з відсутнім або ж розрідженим рослинним покривом.



Рисунок 1.8 – Зображення в Діапазоні 4, 3, 2 супутника Sentinel 2

Діапазони 5, 6, 7, 8 (рис. 1. 9) вимірює ближній інфрачервоний спектр або NIR (Near Infrared). Ця частина спектра особливо важлива для екологів, оскільки вода в листі здорових рослин відображає її.



Рисунок 1.9 – Зображення в Діапазоні 8 супутника Sentinel 2

Найбільш насичені ділянки це зони з великою кількістю зволоженою рослинності.

Діапазони 11 і 12 (рис. 1. 10) покривають різні ділянки короткохвильового ІК або SWIR (shortwave infrared). Вони дозволяють відрізнити суху землю від вологої, а також скелі і ґрунту, які виглядають схоже в інших діапазонах, але відрізняються в SWIR.

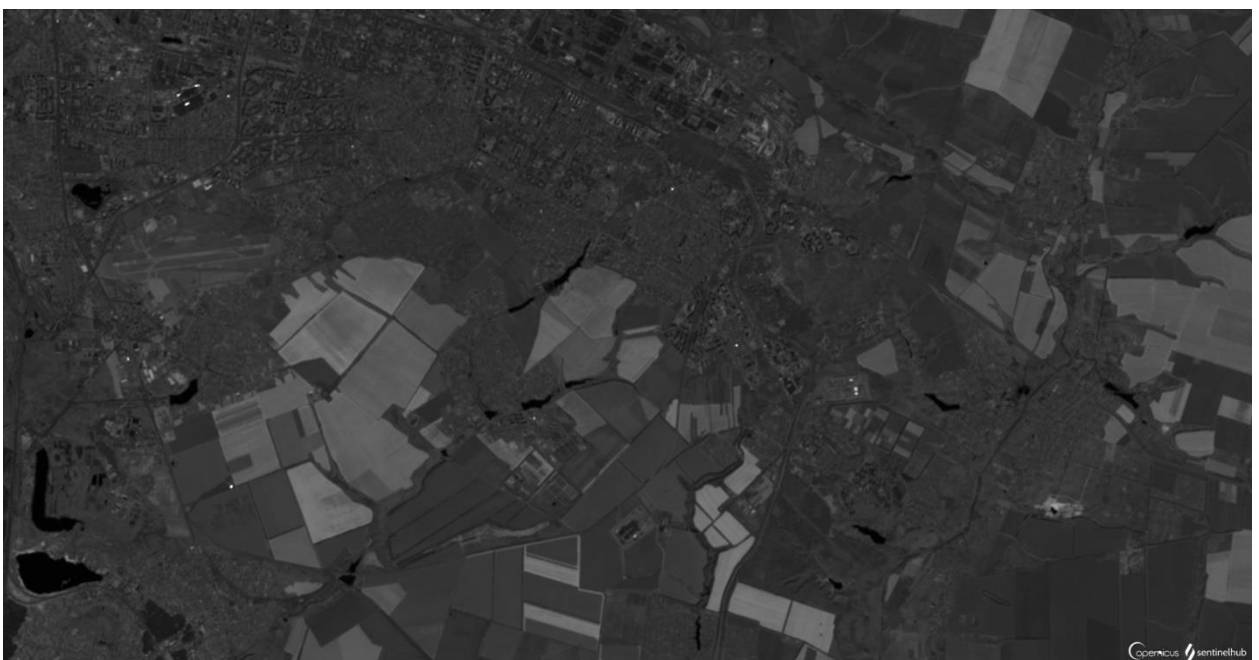


Рисунок 1.10 – Зображення в Діапазоні 12 супутника Sentinel 2

Діапазони 8, 4, 3 (рис. 1. 11) являє собою штучний колір (False color) (використовує принаймні одну невидиму довжину хвилі для зображення) використовуючи комбінацію з ближнього інфрачервоного (NIR), червоного і зеленого діапазонів. Штучний колір використовується досить часто для оцінки щільності і стану рослин, оскільки рослини відображають ближній інфрачервоний і зелене світло, в той час як вони поглинають червоне. Міста і відкрита земля сірі або жовто-коричневі, а вода здається синьою або чорною.



Рисунок 1.11 – Зображення в Діапазоні 8, 4, 3 супутника Sentinel 2

1.4 Багатоспектральні системи комплексування зображень

Під комплексуванням зображень розуміється таке поєднання декількох зображень, котре призводить до підвищення інформативності по порівняно з аналізованими окремими вихідними зображеннями. Розглянемо структуру комплексування зображень на прикладі узагальненої БОЕС (рис, 1.12). Об'єкт спостереження формує випромінювання в широкому спектральному діапазоні.

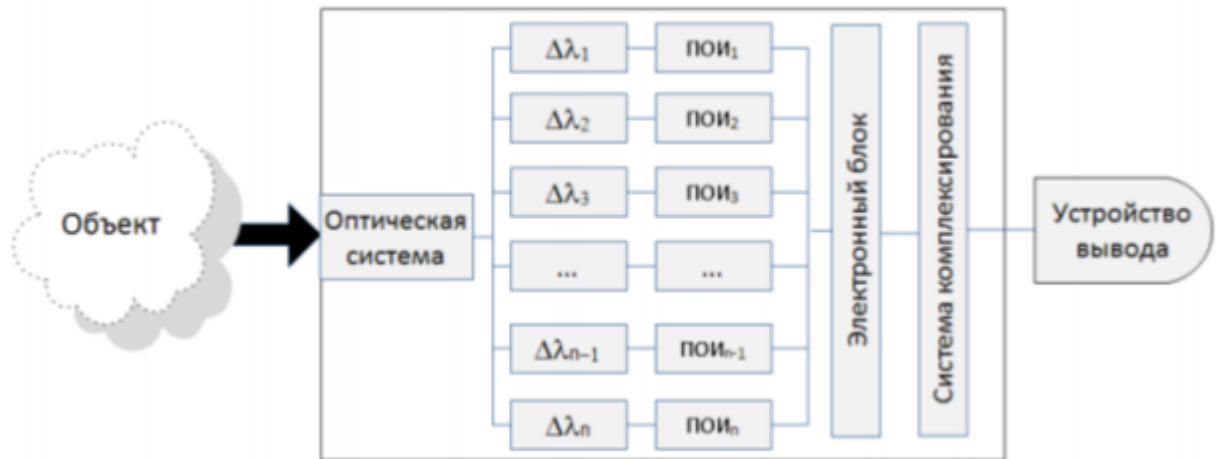


Рисунок 1.12 – Структурна схема багатоспектральної ОЕС
комплексування зображень

Приймальна оптична система збирає необхідний потік випромінювання і формує зображення простору об'єкта. Система поділу всього спектрального діапазону роботи системи ділить весь спектр випромінювання об'єкта на n окремих каналів ($\lambda_1, \Delta\lambda_2, \dots, \Delta\lambda_n$).

Розділений потік випромінювання потрапляє на узкодіапазонний приймач оптичного випромінювання (ПОВ₁, ПОВ₂, ..., ПОВ_n), перетворює оптичний сигнал в електричний. В електронному блоці відбувається обробка сигналів, по-одержуваних в різних спектральних діапазонах. Система комплексування об'єднує зображення, що відповідають різним спектральним діапазонам, в єдине зображення відповідно до вимог результуючого зображення. Пристрій виведення передає комплексоване зображення на дисплей або інші пристрої дешифрування (виявлення, розпізнавання, класифікації, ідентифікації).

У загальному випадку об'єкт спостереження характеризується великою кількістю інформативних параметрів (просторове положення, спектр і потужність випромінювання і т.д.). Формуються в окремих каналах сигнали являють собою двовимірну функцію розподілу освітленості на приймачі випромінювання. На виході електронного блоку формуються цифрові

зображення F_1, F_2, \dots, F_n . Тоді результатом комплексуювання зображень є зображення Z , що представляє об'єднану множину F :

$$F_1, F_2, \dots, F_n \subset Z^r \quad (1.1)$$

Де r - розмірність комплексованого зображення, для більшості випадків дорівнює двом, однак в деяких завданнях (наприклад, в задачах з застосуванням об'ємних зображень) може бути більше двох [10,11]. Для зображень, отриманих в БОЕС, в загальному випадку задача комплексуювання зводиться до знаходження функцій просторового перетворення і перетворення яскравості. Просторове перетворення полягає в усуненні геометричних спотворень між парою зображень F_1, F_2, \dots, F_n , отриманих в один і той же час для однієї ділянки місцевості. Необхідність обліку перетворення яскравості виникає через можливої зміни освітлення, сезонних і добових змін. Потреба застосування змін як просторового, так і яскравого перетворення може бути обумовлено також і тим, що суміщаються зображення отримані при допомозі різного виду приймачів. Після знаходження просторових і яскравості перетворень-таня може бути реалізований один з методів комплексуювання зображення.

2 МЕТОДИ КОМПЛЕКСУВАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Основною метою комплексування зображень є скорочення обсягу переданих даних шляхом синтезу високоякісного зображення поверхні з набору вихідних багатоспектральних зображень. Завдання комплексування зображень полягає у виділенні характерних особливостей зображень та подання максимальної кількості інформації, що міститься у вихідних зображеннях в одне результуюче зображення з мінімальними втратами.

2.1 Загальний підхід до комплексування зображень

Розглянемо задачу комплексування цифрових монохромних зображень в загальному вигляді. Без втрати спільності будемо вважати, що елементи всіх зображень мають однаковий яркістний діапазон (L_{\min} , L_{\max}). Нехай у нас є N суміщених різноспектральних цифрових зображень від відеоканалів:

$$\begin{aligned} K_j = K_j(x, y) \in [L_{\min}, L_{\max}], j = \overline{1, N}, \\ N > 1, x = \overline{0, W-1}, y = \overline{0, H-1}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Інформацію від каналів необхідно записати в кольорове зображення в M -вимірному колірному просторі, причому при $M = 1$ кольорове зображення вироджується в півтонове монохромне. Тоді кожна колірна компонента для мультиспектрального кольорового зображення запишеться як:

$$\begin{aligned} C_i = C_i(x, y) \in [L_{\min}, L_{\max}], i = \overline{1, M}, \\ M \geq 1, x = \overline{0, W-1}, y = \overline{0, H-1}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Яркістний діапазон цифрових зображень визначається не стільки глибиною їх оцифровки з відеодатчиків, скільки їх особливостями подання в

обчислювальній системі. Тому без втрати спільності вважаємо, що яркістний діапазон колірних компонент (2.2) багатоспектрального зображення збігається з діапазоном значень елементів вхідних зображень (2.1). В іншому випадку діапазон у формулі (2.1) або (2.2) завжди можна розширити і перерахувати значення за допомогою інтерполяції.

Будемо далі розглядати всілякі лінійні комбінації вхідних різноспектральних зображень з речовими вагами, т. е. лінійні методи їх комплексування, які тоді запишуться у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

$$\begin{cases} C_i = \frac{(a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + \dots + a_{in}K_n)}{(a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in})}, \\ \sum_{j=1}^N a_{ij} \neq 0, i = \overline{1, M} \end{cases} \quad (2.3)$$

Розгляд класу лінійних методів комплексування зображень (2.3) пояснюється простотою їх аналізу. В остаточному підсумку, лінійний метод являє собою просту математичну модель формування багатоспектрального зображення без урахування нелінійності колірного сприйняття людиною.

Щоб багатоспектральне $K_j, j = \overline{1, N}$ зображення закономірно містило в собі всю інформацію вхідних зображень, необхідно і досить однозначне відновлення по багатоспектральному зображенню вхідних даних, т. е. Єдність розв'язку системи (2.3) відносно невідомих. Така умова вимагає, відповідно до теореми про єдиничне рішення СЛАР, щоб число лінійно незалежних рівнянь збігалось з числом невідомих. З останнього випливає необхідне фундаментальне умова збереження інформації на багатоспектральному зображенні: число базисних колірних компонент багатоспектрального зображення повинно бути не менше числа комплексіруємих різноспектральних зображень, іншими словами, необхідно дотримання нерівності:

$$M \geq N. \quad (2.4)$$

Зауважимо, що комплексування двох і більше інформативних зображень в монохромне «багатоспектральне» веде до неминучих втрат інформації, а всі результати, досягнуті багатьма авторами раніше без урахування умови (2.4), є лише компромісами між тим, інформація з якого зображення буде сильніше «забивати» дані від інших каналів.

Якщо ж перейти до кількісного опису з позиції обсягу інформації, яке може займати в пам'яті комп'ютера багатоспектральних зображення в порівнянні з його складовими, то з нерівності (2.4) випливає твердження, що:

$$V_M \geq \sum_{j=1}^N V_j. \quad (2.5)$$

де V_M – обсяг даних, яке займає багатоспектральне зображення, а $V_j, j = 1, \dots, N$ – обсяги даних, які займають його складові.

Слідство (2.5) підтверджує зазначені вище доводи з позиції теорії інформації: якщо дані з деякого набору нестисливі без втрат, то в загальному випадку неможлива їх запис в одну структуру даних меншого обсягу (в бітах), ніж їх сумарний обсяг.

Далі необхідно звузити клас методів комплексування (2.3), щоб результуюче зображення природно сприймалося і правильно аналізувалося людиною. Для цього будемо враховувати особливості формування кольорового зображення в людському оку, де є три типи спеціальних клітин - колб, що відповідають за колірне сприйняття в коротких (S-тип), середніх (M-тип) і довгих (L-тип) хвилях видимого випромінювання. Сукупна нервове збудження від трійки колб визначає сприймається людьми колір об'єкта. За таким же принципом працює широко відома адитивна тривимірна ($M = 3$) колірна модель RGB, повсюдно застосовується для зберігання кольорових

зображень і виведення їх на кольорові дисплеї. Криві абсолютної спектральної чутливості колбочок I від довжини хвилі λ видимого випромінювання показані на рис. 2.1.

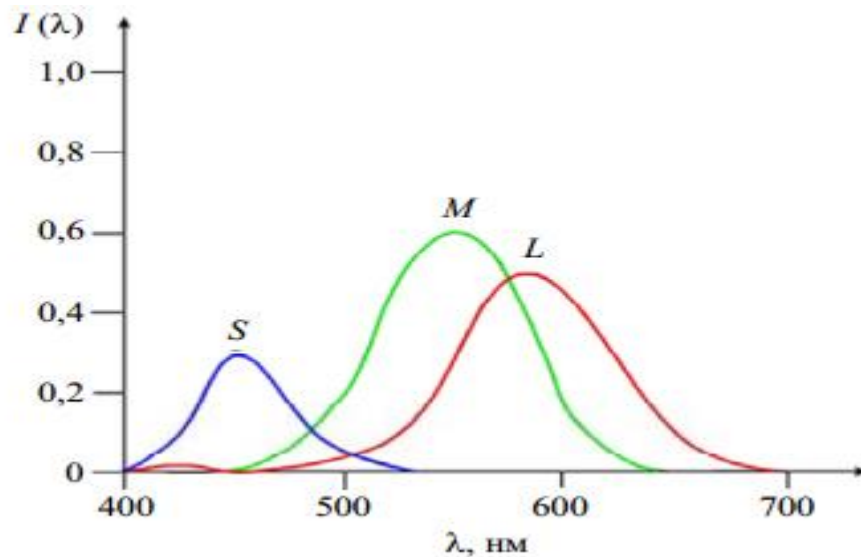


Рисунок 2.1 – Графіки абсолютної спектральної чутливості колбочок $I(\lambda)$.

Як видно з рис. 2.1, криві чутливості всіх колб близькі до нормальних розподілів:

$$S(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_s)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2.6)$$

$$M(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_M)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2.7)$$

$$L(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_L)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2.8)$$

де $\lambda_S, \lambda_M, \lambda_L$ довжини хвиль, на які припадає максимум чутливості колбочок типу S, M і L відповідно, а параметри $\sigma_S, \sigma_M, \sigma_L$ відповідають за ефективні діапазони їх спектральної чутливості $[\lambda_C - 3\sigma_C, \lambda_C + 3\sigma_C]$, $C = S, M, L$.

Нехай далі $M = N$. У цьому випадку маємо N «колб» - відеоканалів, які утворюють кусочно-безперервний розширений спектральний діапазон, якщо вони впорядковані за зростанням (спаданням) усереднених значень довжин хвиль за-реєстрованого випромінювання. Отриманий так розширений діапазон слід лінійно перетворити за формулою (2.3) в видимий діапазон, що складається з N колірних компонент, упорядкованих таким же чином, що доповнює систему (2.3) наступними умовами з урахуванням рис. 1 і наближень графіків усередненої спектральної чутливості людського ока за формулами (2.6) – (2.8):

$$\left\{ \begin{array}{l} C_i = \frac{(a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + \dots + a_{in}K_n)}{(a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in})}, a_{ij} = \exp(-(i - j)^2), i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}, \\ \lambda(C_{i_1}) < \lambda(C_{i_2}), i_1 < i_2, i_{1,2} = \overline{1, N} \\ L(K_{j_1}) < L(K_{j_2}), j_1 < j_2, j_{1,2} = \overline{1, N} \end{array} \right. , (2.9)$$

де $\lambda(C_i)$ – довжина хвилі базисного кольору C_i , $i = \overline{1, N}$, $L(K_j)$ – середня довжина хвилі спектрального діапазону K_j , $j = \overline{1, N}$.

Якщо $M > N$, то після обчислення базисних квітів C_i , $i = \overline{1, N}$ необхідно здійснити передискретизацію колірних компонент з урахуванням їх рівномірного розподілу по спектру.

2.2 Метод максимуму

Метод максимуму полягає в заміщенні значень зображення $F_1(x, y)$ значеннями зображення $F_2(x, y)$ в тому випадку, якщо значення другого

зображення більше. На виході формується нове зображення, в якому будуть присутні інформаційні ознаки зображення $F_1(x, y)$ і яскраво виражені ознаки $F_2(x, y)$. Метод максимуму реалізується відповідно до вираження (2.10) тут і далі в роботі $Z(x, y)$ – комплексоване зображення.

$$Z(x, y) = \max \{F_1(x, y), F_2(x, y)\}. \quad (2.10)$$

Метод максимуму є одним з найпростіших методів комплексування і реалізується на основі логічної операції порівняння, є неадаптивним і результат повністю залежить від рівня яскравості зареєстрованих зображень.

2.3 Метод маски

Комплексування за методом маски, також як і метод максимуму реалізується на основі простої логічної операції порівняння, але при цьому передбачає, що одне з вхідних зображень є маскою для іншого. Припустимо, що в процесі комплексування $F_2(x, y)$ буде накладено на зображення $F_1(x, y)$. Тоді над зображенням $F_2(x, y)$ виконується операція порогової фільтрації, в результаті якої виходить маска накладення на зображення $F_1(x, y)$. Після накладення результуюче комплексірованне зображення буде являти собою об'єднану множину $F_1(x, y)$ та $F_2(x, y)$. При цьому значення в кожній точці простору буде визначатися або відповідним значенням з зображення $F_2(x, y)$, або, в разі, якщо значення відповідної точки маски дорівнює нулю, то результуючим значенням приймається значення пікселя з зображення $F_1(x, y)$. Комплексування методом маски здійснюється за наступним виразом:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), & F_2(x, y) < T \\ F_2(x, y), & F_2(x, y) > T \end{cases}, \quad (2.11)$$

де T - рівень порогового фільтра.

При використанні комплексування методом маски основну складність представляє завдання рівня порогового фільтра. Неправильний вибір рівня може призвести до втрати інформації в результуючому зображенні.

2.4 Метод усереднення

Метод усереднення заснований на знаходженні середнього арифметичного від вихідних зображень $F_1(x, y)$ та $F_2(x, y)$. Цей спосіб вимагає мінімальних обчислювальних затрат, але не використовує ті інформаційні переваги, яке дає наявність декількох відрізняються зображень. Комплексування методом усереднення здійснюється за наступним виразом:

$$Z = \frac{F_1(x, y) + F_2(x, y)}{2}. \quad (2.12)$$

В результаті виходить зображення з згладженими деталями об'єктів, контраст комплексованого зображення істотно зменшується щодо вихідних зображень, але в той же час відбувається зменшення шумовий складової.

2.5 Метод ступеневого перетворення

Метод ступеневого перетворення полягає в зведенні вихідного зображення $F_1(x, y)$ в показник ступеня, рівний нормованому значенню негативу другого зображення $F_2(x, y)$. Даний метод є модифікацією методу, запропонованого Ж. Лю (Zheng Liu) і Р. Лаганьєром (Robert Lagani`ere), де в якості показника ступеня використовувалося відношення двох вхідних зображень з попередньої просторової фільтрацією [9]. Реалізація методу із застосуванням негативного зображення в показнику ступеня дозволяє

виконувати комплексування в режимі реального часу. Комплексування за методом статичного перетворення здійснюється за формулою:

$$Z(x, y) = F_1(x, y)^{1-F_2(x,y)/2^n}, \quad (2.13)$$

Де n – розрядність вихідного зображення $F_2(x, y)$

Таким чином, в показнику ступеня буде значення в діапазоні $[0; 1]$. В результаті на комплексованому зображенні мінімальні значення яскравості зображення $F_2(x, y)$ залишаться колишніми, а для максимальних відбудеться істотна зміна. Таким чином, вузький діапазон значень і-перехідного зображення $F_1(x, y)$ перетвориться в широкий діапазон вихідних значень, що дає поліпшення контрасту на результуючому зображенні $Z(x, y)$.

2.6 Метод черезрядкового комплексування

Метод черезрядкового комплексування реалізує алгоритм на основі рядкового чергування одного зображення щодо іншого. При цьому результат комплексування для пари зображень розміром $M \times N$ в загальному випадку буде мати дозвіл $M \times 2N$:

$$Z(x, q) = \left\{ \begin{array}{l} Z(x, 2y) = F_1(x, y) \\ Z(x, 2y + 1) = F_2(x, y) \end{array} \right\}, \quad (2.14)$$

де $q = 1 \dots 2N$ – просторова роздільну здатність комплексованого зображення по вертикалі.

Даний метод може бути реалізований зі збереженням просторового розрішення вихідних зображень шляхом складання комплексованого зображення з чергування парних і непарних рядків відповідно зображень $F_1(x, y)$ та $F_2(x, y)$. Тоді вираз набуває вигляду:

$$Z(x, y) = \begin{cases} F_1(x, y), y \in 1, 3, 5, \dots, N \\ F_2(x, y), y \in 2, 4, 6, \dots, N-1 \end{cases}. \quad (2.15)$$

Одним з недоліків методу черезрядкового комплексування є виражена періодична структура на результуючому зображенні, обумовлена принципом роботи даного методу. В просторової області дефект проявляється у вигляді періодичної складової по вертикальній осі зображення з відомим періодом чергування (1 піксель), а в частотній - у вигляді яскраво вираженою складовою на найвищих частотах спектра, котра м-же бути усунена вузькосмуговим високочастотним фільтром.

2.7 Метод вагової функції

Метод вагової функції реалізується як лінійна комбінація значень вхідних зображень $F_1(x, y)$ та $F_2(x, y)$ з коефіцієнтом α . Коефіцієнт α характеризує величину значущості кожного з каналу і може приймати значення в діапазоні $[0; 1]$. Комплексування за методом вагової функції здійснюється відповідно до вираження:

$$Z(x, y) = \alpha F_1(x, y) + (1 - \alpha) F_2(x, y), \quad (2.16)$$

Коефіцієнт α може бути заданий на основі апріорної оцінки ефективності кожного з каналів, але в такому випадку метод буде неадаптивним до постійно змінюваних умов. Тому пропонується розраховувати коефіцієнт α на основі середнього значення вхідних зображень:

$$\alpha = \frac{\sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_2(x, y)}{\frac{1}{M \cdot N} \left[\sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_1(x, y) + \sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} F_2(x, y) \right]}. \quad (2.17)$$

Такий алгоритм знаходження вагового коефіцієнта призводить до того, що більш значущим стає то зображення, середній рівень яскравості якого вище. Метод ваговій функції вимагає більше обчислювальних витрат в порівнянні з розглянутими в статті методами, але також може бути реалізований в реальному часі. Основна складність пов'язана з визначенням вагового коефіцієнта. Неправильне визначення коефіцієнта може привести до повної втрати інформаційних складових одного з вихідних зображень.

2.8 Реалізація методів комплексування зображень

На основі розглянутих методів в середовищі математичного пакету MATCAD [12] були реалізовані алгоритми їх комплексування. Результати реалізації методів представлені нарис. 2.1.

Як видно з представлених результатів, для методів 3 і 5 на комплексованому зображення є багато зайвих деталей, для методів 1 і 2 сталася істотна втрата інформації. Методи 4 і 6 показали кращі результати, зберігши необхідні інформативні признаки двох зображень. Для об'єктивної оцінки якості методів комплексування необхідно застосування критеріїв оцінки визначення ефективності перетворень, що включають оцінку інформаційної складової на результуючому зображенні і якісну оцінку його сприйняття.

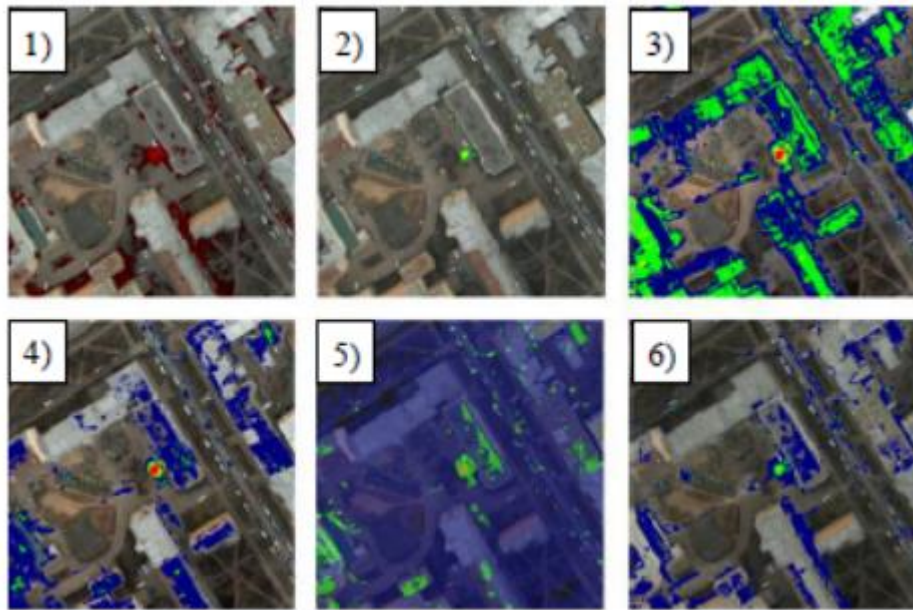


Рисунок 2.1 – результати комплексування: 1 – Метод максимуму; 2 – Метод маски; 3 – Метод усереднення; 4 – Метод ступеневого перетворення; 5 – Метод черезрядкового комплексування; 6 – Метод вагової функції

3.9 Критерії оцінки якості комплексованого зображення

Ефективність застосовуваних методів пропонується оцінювати за допомогою інформаційної ентропії від контурів зображень. Пов'язано це з тим, що саме контури є найбільш інформативною частиною зображення [13]. Такий метод оцінки являє процес комплексування як джерело інформації, який породжує статистичні незалежні символи результуючого зображення згідно заздалегідь визначеному вероятностному закону. Тоді критерієм якості інформаційної складової виступатиме перехресна ентропія від контурів зображень:

$$CE = \frac{2 \cdot E(\delta Z(x, y))}{E(\delta F_1(x, y)) + E(\delta F_2(x, y))}, \quad (2.18)$$

де CE – перехресна ентропія, E - інформаційна ентропія, $\delta Z(x, y)$, $\delta F_1(x, y)$, $\delta F_2(x, y)$, – контури комплексованого і вихідних зображень відповідно.

Для критерію якості, що враховує властивості сприйняття людським зором, використовувався контраст (2.19), що розраховується між двома пікселями по всьому зображенню.

$$\gamma = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}}, \quad (2.19)$$

де B_{\max} і B_{\min} – максимальна та мінімальна яскравість розглянутого зображення

Також було запропоновано оцінювати значення структурної схожості SSIM (2.19) для пар комплексірованние і вихідних зображень, яке показує схожість між двома зображеннями шляхом їх повного зіставлення [14].

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2.19)$$

Де μ_x – середнє x , μ_y – середнє y , σ_x^2 – дисперсія x , σ_y^2 – дисперсія y , $c_1 = 0,0001$, $c_2 = 0,0009$.

Результати дослідження методів комплексування на основі обробки 100 пар зображень, отриманих в інфрачервоному і видимому спектральних діапазонах при моніторингу теплових мереж м. Санкт-Петербурга, представлені на діаграмі рис. 2.2. З отриманих даних видно, що найбільшим значенням перехресної ентропії мають методи 4 і 3. За значенням контрасту методи 2 і 3 показали кращі результати. За величиною структурної схожості найбільшого значення досягли методи 4 і 6.

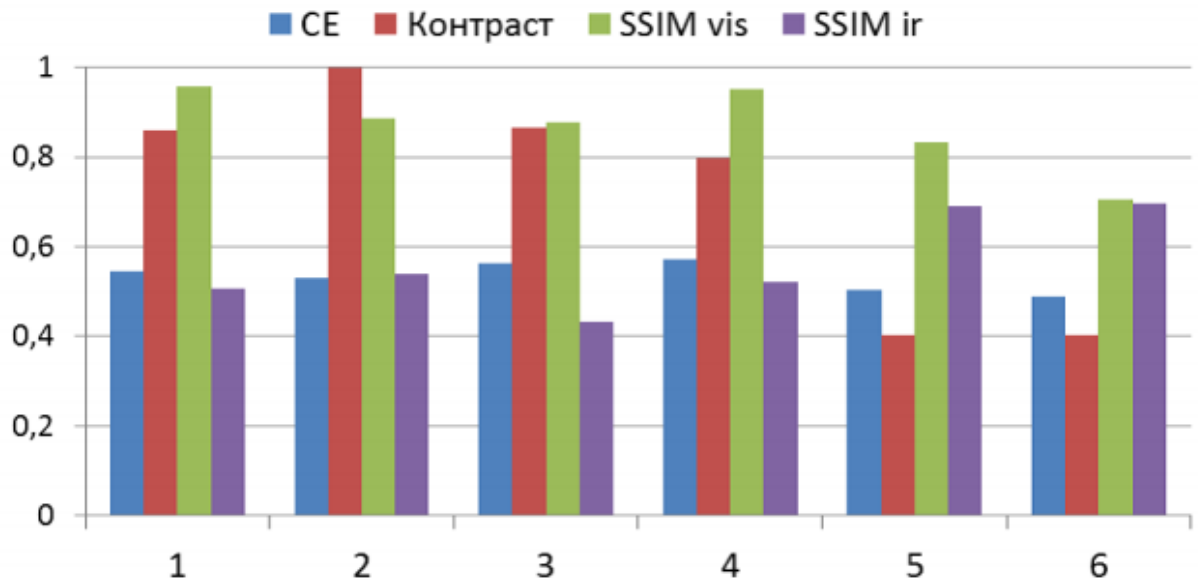


Рисунок 2.2 – Діаграма порівняння методів комплексування зображень: 1 – Метод максимуму; 2 – Метод маски; 3 – Метод усереднення; 4 – Метод ступеневого перетворення; 5 – Метод черезрядкового комплексування; 6 – Метод вагової функції

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що метод 4 (ступеневого перетворення) має кращі характеристики на основі запропонованих критеріїв.

3 РОЗРОБКА СУМІСНОГО АЛГОРИТМУ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЦИФРОВИХ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Для вирішення основного завдання комплексування необхідно виділити відмітні особливості вихідних зображень і виконати процедуру злиття. За рахунок збільшення інформаційної ємності результуюче зображення забезпечить краще сприйняття для людського і комп'ютерного зору [8].

Комплексування зображень складається з наступних етапів:

- попередньої обробки;
- аналізу інформаційного змісту (мінімізації обсягу вихідних даних);
- процедура злиття;
- постобробка і візуалізація отриманих результатів.

3.1 Попередня обробка

Попередня обробка включає в себе яркостні перетворення, що виконуються з метою поліпшення характеристик якості зображень шляхом поелементного і групового перетворення:

- 1) Підвищення контрастності зображень із застосуванням методів адаптивного контрастування.
- 2) Адаптивна еквалізація гістограми.
- 3) Підвищення різкості зображення з використанням процедури локальної фільтрації з посиленням високих частот.

3.2 Мінімізація обсягу даних

Підхід до скорочення обсягу даних ґрунтується на оцінюванні можливого внеску кожного спектрального каналу в рішення поставленого завдання і виборі такої комбінації багатоспектральних зображень, які в

сукупності дають максимальне скорочення обсягу даних при мінімальних втратах інформації. Алгоритм пошуку оптимального набору каналів будується на основі перебору всіх можливих поєднань по n каналів з повного числа N каналів за критерієм максимуму спільної ентропії. При цьому виникають такі проблеми: критерій інформативності складний для безпосереднього рахунку, що ускладнює реалізацію методу повного перебору при великій кількості каналів, крім того, пряме визначення спільної ентропії каналів при $N > 3$ практично неможливо, так як вимагає великої кількості ступенів свободи. Для вирішення даних проблем застосовуються ітераційно-групового алгоритму вибору каналів.

Спочатку шляхом послідовного відбору знаходять деяку початкову конфігурацію заданого числа каналів. Потім робляться спроби поліпшити цю конфігурацію шляхом заміни будь-якого з обраних каналів на один з «вільних» каналів. Якщо чергова спроба вдається, то проводиться фактична заміна і процес триває далі, тобто виникає конфігурація каналів, яка має максимальну інформативність.

Використовуючи цю модель підбору багатоспектральних зображень, давно знайшли потрібні комбінації для виділення потрібних об'єктів – індекси.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний індекс рослинності – простий кількісний показник кількості фотосинтетичний активній біомаси (вегетаційний індекс).), Які дозволяють нам вимірювати ступінь здоров'я рослин точніше, ніж якби ми просто оцінювали видиму зелень [15].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (3.1)$$

де NIR - ближній інфрачервоний діапазон з довжинами хвиль в діапазоні 0,841 - 0,876 мкм; RED – червоний діапазон спектру з довжинами хвиль в діапазоні 0,630 – 0,680 мкм

Нормалізований різницевий водний індекс (NDWI) - відображає вміст вологи в рослинах і ґрунті та визначається за аналогією з NDVI як:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (3.2)$$

де SWIR - частина діапазону з довжинами хвиль в діапазоні 1,628-1,652 мкм.

3.3 Програмна реалізація

Для комплексування багатоспектрального зображення створена окрема програма, головне вікна якої зображено на рис. 3.2.

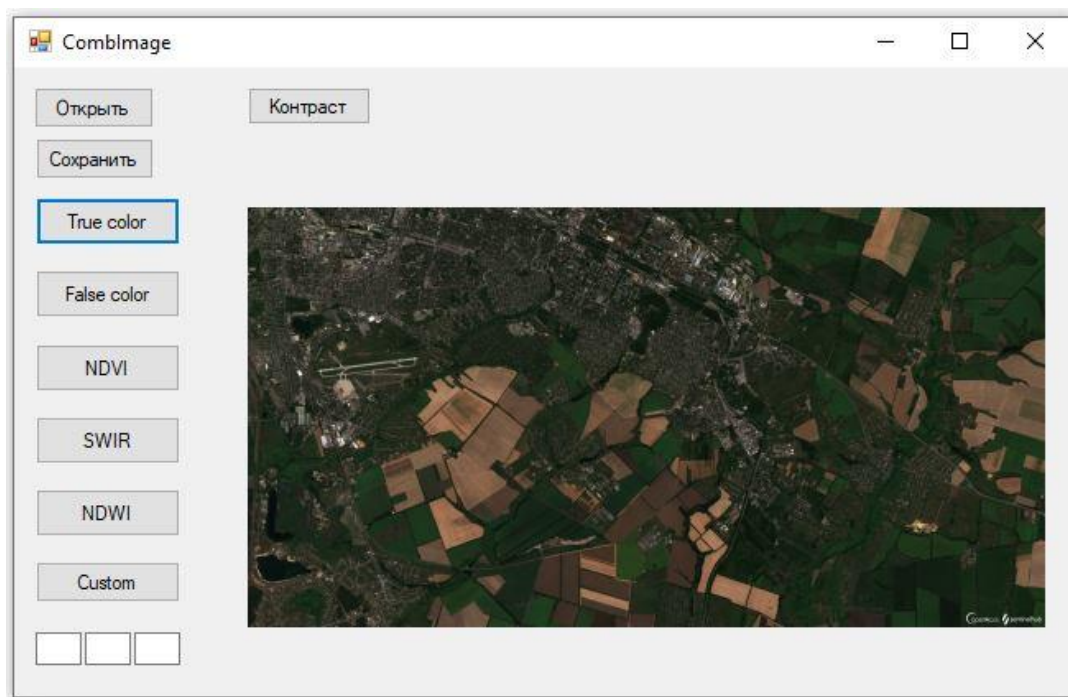


Рисунок 3.1 – Головне вікно програми для комплексування багатоспектрального зображення

Для роботи програми потрібно завантажити зображення спектральних каналів та натиснути на одну з кнопок, яка скомбінує зображення в трьох колірних каналів (RGB). В результаті у вікні програми з'явиться комплексоване зображення.

3.4 Моделювання роботи системи комплексування багатоспектральних зображень земної поверхні

В якості багатоспектральних зображень візьмемо знімки зроблені 4 серпня 2020 поблизу с. Рогань Харківської.

Для супутника Sentinel 2 індекс NDVI (3.1) складається з каналів 8 (NIR) та 4 (RED). Комплексоване зображення нормалізованого відносного індекс рослинності представлено на рис 3.3

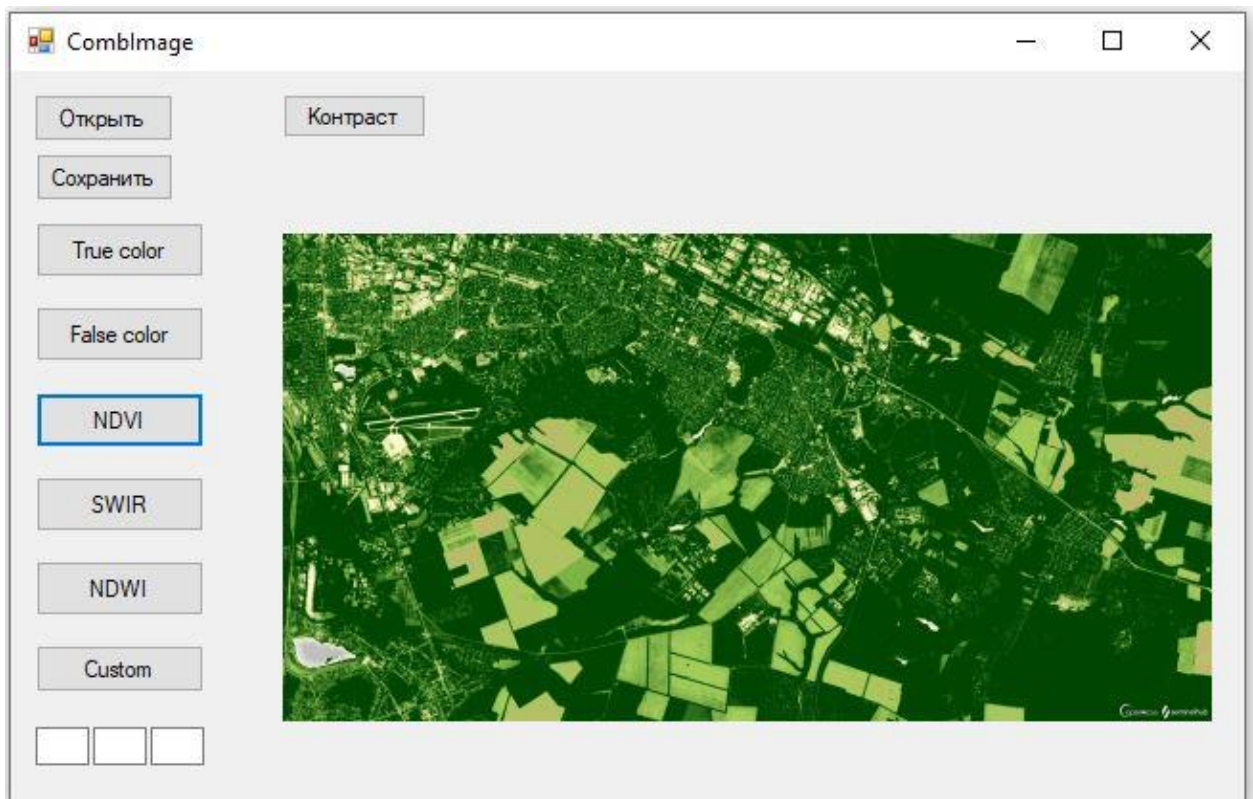


Рисунок 3.2 – Результат комплексування мультиспектральних зображень як індекс NDVI

Ставлення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів. В результаті можна отримати повноцінний спектральний аналіз і виявити ділянки, які потребують пересівання, внесення ЗЗР або добрив. Індекс помірно чутливий до змін ґрунтового і атмосферного фону, крім випадків з бідною рослинністю, і може перенасичуватися в умовах густої рослинності, коли рівень індексу листкової поверхні (стає високим).

Діапазони 11 і 12 (рис. 3.3) покривають різні ділянки короткохвильового ІК або SWIR (shortwave infrared). Вони дозволяють відрізнити суху землю від вологої, а також скелі і ґрунту, які виглядають схоже в інших діапазонах, але відрізняються в SWIR. Погляньмо на розфарбоване зображення, в якому SWIR використовується замість червоного каналу, NIR замість зеленого і темно-синій замість синього (технічно це комбінація каналів 12-8a-4):



Рисунок 3.3 – Комплексоване зображення індекса SWIR

Для супутника Sentinel 2 індекс NDWI (3.1) складається з каналів 3 (NIR) та 8 (SWIR). Результати індексу NDWI (рис. 3.4) надають інформацію як про просторовий розподіл водного стресу на рослинність, так і про його тимчасове розвитку протягом більш тривалих періодів часу. Продукт NDWI безрозмірний і варіюється від -1 до +1, в залежності від вмісту твердої деревини, а також від типу рослинності і покриття. Високі значення NDWI (синього кольору) відповідають високому вмісту води в рослинах і покриттю високої рослинної фракцією. Низькі значення NDWI (білого кольору) відповідають низькому вмісту рослинності і покриттю з низькою рослинністю [16].

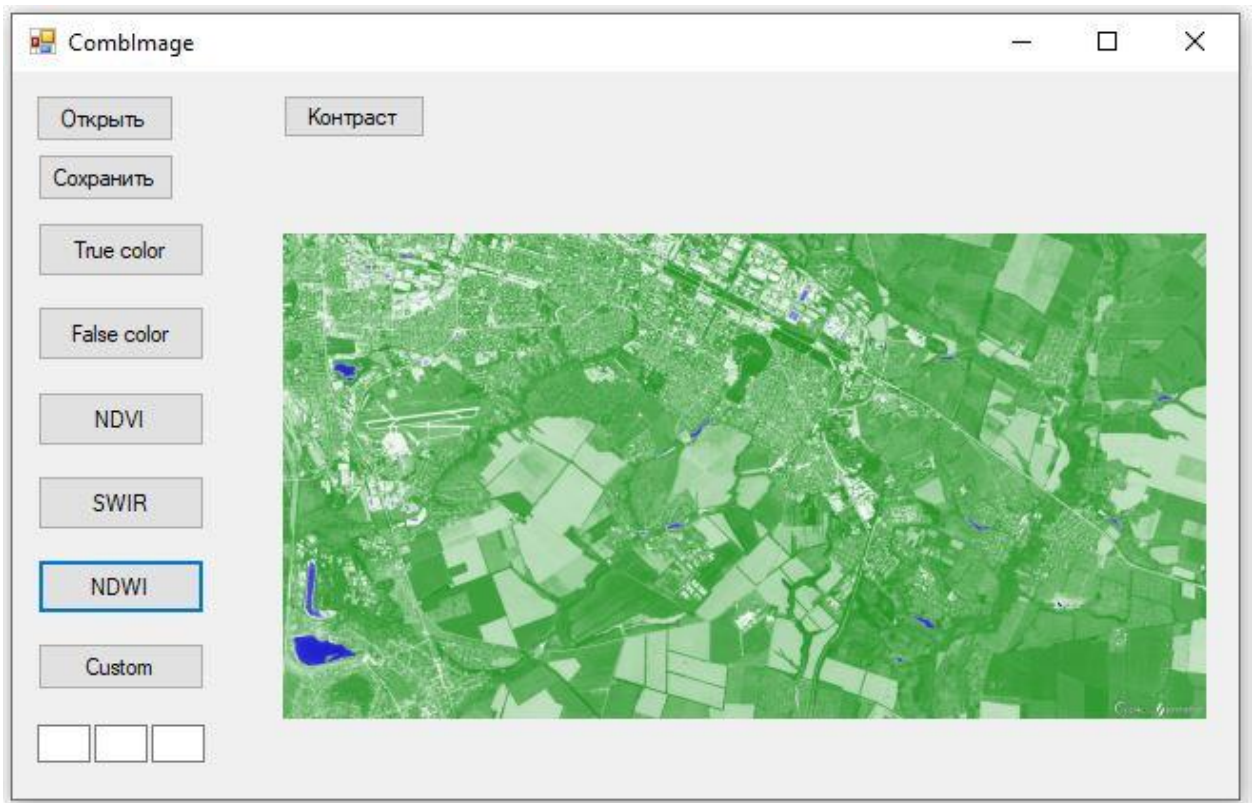


Рисунок 3.3 – Результат комплексування мультиспектральних зображень як індекс NDWI

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розглянуті основні особливості, що виникають в завданні багатоспектрального комплексування зображень.

У першому розділі, що має оглядовий характер, розглянуті методи отримання даних дистанційного зондування у вигляді цифрових багатоспектральних зображень. Проведено порівняльний аналіз багатоспектральних знімків на прикладі даних, отриманих за допомогою обладнання сучасного супутника дистанційного зондування Sentinel 2, визначені їх можливості.

У другому розділі Розглянуто відомі алгоритми комплексування цифрових зображень. Наведено опис математичного апарату сучасних методів комплексування, виділені гідності методів і їх недоліки при вирішенні практичних завдань.

У третьому розділі програмно реалізували алгоритм комплексування, який дозволяє комбінувати супутникові знімки різних діапазонів частот в кольорові зображення придатні для візуального аналізу.

Запропонований метод комплексування мультиспектральних даних досить простий як в інтуїтивному розумінні, так і в обчислювальному відношенні. Метод дозволяє синтезувати зображення, що поєднують в собі спектральні властивості, властиві окремим мультиспектральним знімкам. Тестування і експериментальне дослідження ефективності методу продемонстрували його потенційні можливості в задачах класифікації об'єктів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 А.С. Васильев, «Исследование и разработка многоспектральной оптико-электронной системы комплексирования информации для обнаружения и мониторинга лесных пожаров», дис. канд. тех. наук., ун-т ИТМО, Санкт-Петербург, 2015.
- 2 Sentinel-2 MSI: Overview. European Space Agency. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>. Дата звернення Лист.5,2020.
- 3 landsat 8 overview. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>. Дата звернення Лист.5,2020.
- 4 Е.А. Дудин, А.Н. Анисимов, В.А. Воронцов, В.А. Левачков, А.А. Курочкин, К вопросу автоматизации этапов наземной обработки данных дистанционного зондирования Земли. Санкт-Петербург, Россия: Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2016.
- 5 Б.В. Шилин, «Прикладные задачи тепловой аэросъемки», Оптический журнал. т. 80. № 6, с 35-41, 2016
- 6 Б.В. Шилин, В.Н. Груздев, А.В. Марков, В.Ф. Мочалов «Использование видеоспектральной аэросъемки для экологического мониторинга», Оптический журнал. т.68, №12, с 5-12, 2015.
- 7 Беспилотные системы ЗАЛА АЭРО. [Электронный ресурс]. Доступно:<http://zala.aero>. Дата звернення Лист.20,2020.
- 8 О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков, А.А. Шулятьев, «Комплексирование данных многоканального мониторинга земной поверхности», Методы и устройства передачи и обработки информации. Муром, т. 2, № 1. с. 68-71, 2017.
- 9 А.С. Васильев Методология комплексирования изображений. Санкт-Петербург. Россия: ун-т ИТМО, 2017.

10 О.Ю. Аксенов, «Совмещение изображений», Цифровая обработка сигналов. т. 16, № 3, с. 51-55, 2015,

11 F. Al-Wassai, N. Kalyankar and A. Al-zuky, «The IHS Transformations Based Image Fusion», Journal of Global Research in Computer Science, Vol. 2, No. 5, pp. 70-89, 2016.

12 Д. В. Кирьянов, Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. Санкт-Петербург. Россия: БХВ-Петербург, 2018.

13 В. В. Зуев, А. Л. Жизняков, «Возможности использования фактора наследственности признаков на последовательности изображений для их анализа», Цифровая обработка сигналов. т. 20, №6, с. 98-124, 2019.

14 Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, p. 600–612, Apr. 2018.

15 Gis-Lab. [Электронный ресурс]. Доступно:<https://gis-lab.info/qa/ndvi.html/> Дата звернення Лист.22.2020.

16 Earth Observing System. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://eos.com/ru/ndwi/> Earth Observing System . Дата звернення Гр.1.2020.