

УДК 004.9:629.735.33

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.3.1>

**Андрій КИСІЛЬ**

аспірант кафедри комп'ютерних інформаційних систем і технологій

Інститут комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну

ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»

ORCID: 0009-0006-5815-5007

## КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ФОТОРЕЄСТРАЦІЇ UAV У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

**Анотація.** У статті проведено аналіз сучасних підходів, що використовуються на етапі попередньої обробки даних фотореєстрації безпілотних літальних пристроїв програмними алгоритмами. Продовжено розробку проблеми ефективної обробки великих масивів поточкових даних систем фотореєстрації безпілотного літального пристрою у режимі реального часу за умов обмеженого обчислювального ресурсу.

**Метою роботи** є побудова цілісної методики відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення програмними методами у відповідності до адитивної колірної схеми системи фотореєстрації без включення у дослідження методів компенсації оптичних аберацій системи фотореєстрації та просторової фільтрації вхідних даних.

**Методологія.** Використано комплексний підхід до обробки цифрових зображень, що включає етапи попередньої обробки (PRIP), відновлення та кластеризації матриці зображення з адаптацією до обмежень обчислювальних ресурсів апаратно-програмної платформи. Для обробки використовуються порогові та морфологічні методи, які забезпечують попередню сегментацію і фільтрацію шумів, а також класифікацію та виділення зв'язних компонент у зображеннях.

**Наукова новизна** полягає у тому, що розроблено підхід щодо послідовного застосування процедур ерозії та дилатації для видалення шумів, збереження границь важливих елементів, а також алгоритм для виділення границь зображень через різницю між вихідним зображенням та результатом ерозії у залежності від колірної схеми зображення. Запропоновано триетапний підхід для алгоритму сегментації кольорового зображення, який включає виявлення розривів у границях, порогову обробку та обробку областей. Обмеження кількості сегментів пропонується проводити шляхом введення маркерів.

**Висновки.** Основна увага була приділена моделюванню та фільтрації шумів, які виникають через типові обмеження системи фотореєстрації та оптичні властивості середовища. Проаналізовано базові процедури попередньої обробки бінарних зображень, такі як дилатація, ерозія та виділення границь, на основі логічних операторів та примітивів корекції. Представлено особливості застосування порогових методів попередньої обробки зображень як простого і ефективного підходу для поділу зображення на області. Розроблено схему для реалізації алгоритму обробки кольорового зображення з глобальним порогом, яка включає етапи початкової оцінки порогу, його корекції та повторної перевірки до досягнення заданої точності. На останньому етапі проаналізовано методи попередньої сегментації зображення методом водоподілу.

**Ключові слова:** попередня обробка зображення, безпілотні літальні пристрої, статистичний шум, морфологічні методи, зв'язні компоненти зображення, алгоритм з адаптивним порогом, сегментація матриці зображення.

## Andrii KYSIL. COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR REAL-TIME PREPROCESSING OF UAV PHOTOREGISTRATION DATA

**Abstract.** The article analyzes the modern approaches used at the stage of pre-processing of unmanned aerial vehicle photo registration data by software algorithms. The development of the problem of efficient processing of large arrays of streaming data of photo registration systems of unmanned aerial vehicles in real time under conditions of limited computing resources is continued.

**The aim of the work** is to build a holistic methodology for restoring and pre-segmenting the digital image matrix by software methods in accordance with the additive color scheme of the photo registration system without including methods for compensating for optical aberrations of the photo registration system and spatial filtering of input data.

**Methodology.** An integrated approach to digital image processing is used, including the stages of pre-processing (PRIP), restoration and clustering of the image matrix with adaptation to the limitations of the computing resources of the hardware and software platform. Thresholding and morphological methods are used for processing, which provide preliminary segmentation and noise filtering, as well as classification and extraction of connected components in images.

**The scientific novelty** is that an approach to the sequential application of erosion and dilatation procedures to remove noise, preserve the boundaries of important elements, and an algorithm for highlighting image boundaries due to the difference between the original image and the erosion result, depending on the color scheme of the image, has been developed. A three-stage approach for the color image segmentation algorithm is proposed, which includes detection of boundary gaps, thresholding, and region processing. It is proposed to limit the number of segments by introducing markers.

**Conclusions.** The main attention was paid to the modeling and filtering of noise arising from the typical limitations of the photo registration system and the optical properties of the environment. The basic procedures of binary image preprocessing, such as dilatation, erosion, and edge detection, based on logical operators and correction primitives, were analyzed. The peculiarities of using thresholding methods of image preprocessing as a simple and effective approach for dividing an image into regions are presented. A scheme for implementing a color image processing algorithm with a global threshold is developed,

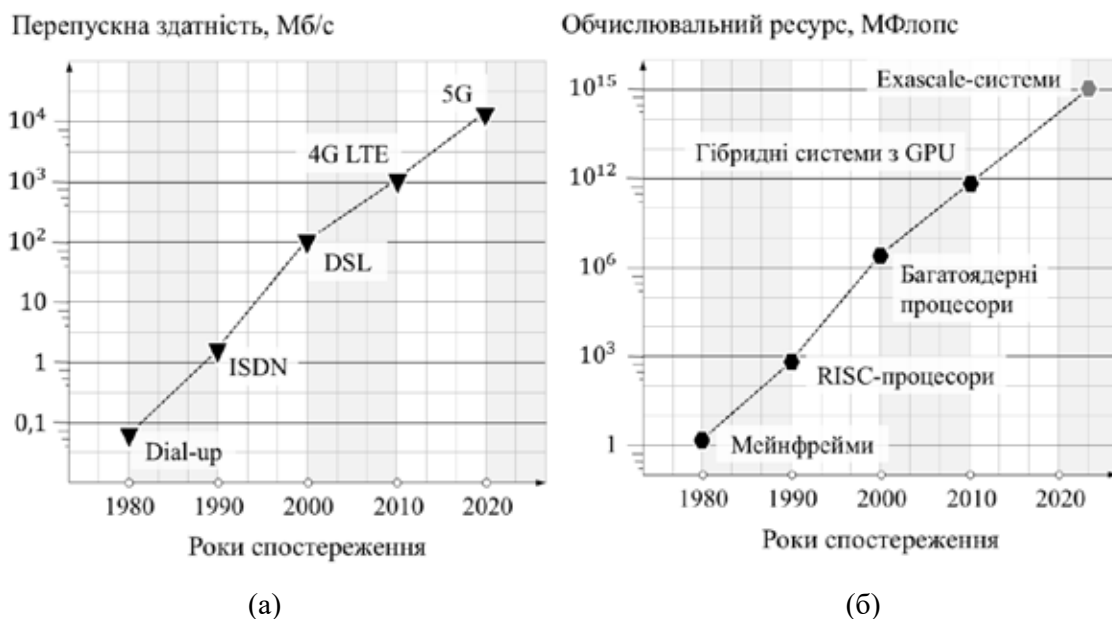
which includes the stages of initial threshold estimation, correction, and re-checking until the specified accuracy is achieved. At the last stage, the methods of preliminary image segmentation using the watershed method are analyzed.

**Key words:** image preprocessing, unmanned aerial vehicles, statistical noise, morphological methods, image connected components, adaptive threshold algorithm, image matrix segmentation.

**Вступ.** Протягом двох останніх десятирічь спостерігається широке впровадження та оптимізація програмних засобів автоматичної обробки графічних даних, зокрема, масивів даних систем фотореєстрації [4; 7; 9; 11; 14; 17]. Важливою складовою машинного аналізу графічних даних є процедура попередньої обробки (Preliminary Image Processing; PRIP), що включає у себе відновлення та кластеризацію матриці зображення [7; 9; 14]. На сьогоднішній день в основі найбільш ефективних алгоритмів PRIP лежить адаптація нейромережових архітектур і, зокрема, нейромереж глибинного навчання, що характеризуються високою ресурсоємністю [4; 11; 17]. Функціональними параметрами апаратно-програмної платформи системи машинного аналізу графічних даних, що у даному випадку підлягають аналізу, є пропускна здатність мережових каналів та загальний обчислювальний ресурс центрального процесору (Central Processing Unit; CPU) і сопроцесорів.

Можна зазначити, що при виборі у якості періоду спостереження 1980–2020 рр., пропускна здатність мережових каналів та обчислювальний ресурс серверних комплексів показують експоненційне зростання (рис. 1).

Показник пропускної здатності згідно даних, що наведені на рис. 1-а, зростає у 10 разів кожні десять років від 56 Кбіт/с аналогових телефонних ліній до 400 Гбіт/с завдяки впровадженню цифрових технологій, ширококутового доступу, оптоволоконних рішень, мобільних мереж 4G LTE та 5G, а також нових підходів у розподілі частот і розвитку магістральних Ethernet-ліній [2; 16]. Показник обчислювальної потужності, натомість зростає у 1000 разів кожні десять років від 1 МФлопс для CPU 1980-х років, до 1 ЕФлопс у 2020-х завдяки впровадженню багатоядерних процесорів, гібридних систем з графічними процесорами та суперкомп'ютерів стандарту Exascale, що широко використовуються в машинному навчанні та штучному інтелекті [3; 10].



**Рис. 1.** Діаграма експоненційного росту (а) пропускної здатності та (б) обчислювального ресурсу інформаційних систем

Тим не менш, слід зазначити, що відповідні показники характерні для центрів обробки даних, у той час як обчислювальний ресурс мобільних електронних пристроїв та пропускна здатність у відповідності до стандартів мобільного зв'язку, у багатьох випадках є недостатніми для впровадження сучасних нейромережових алгоритмів обробки великих масивів даних фотореєстрації. При цьому однією з важливих проблем при застосуванні ресурсоємних алгоритмів PRIP є оснащення апаратно-програмної платформи безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicle; UAV). Оскільки відповідні апарати зазвичай працюють у реальних умовах з обмеженими можливостями для передачі великих обсягів

даних, а також мають компактні і енергоефективні процесори, використання складних алгоритмів може суттєво уповільнювати час реакції системи, що є неприпустимим, особливо за умов застосування UAV на лінії зіткнення [1; 13; 19]. Це вказує на високу актуальність розробки програмних методів обробки даних фотореєстрації UAV і їх подальшої оптимізації для зменшення навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи.

**Аналіз останніх наукових досліджень** присвячених проблемам впровадження засобів автоматизованої обробки даних системи фотореєстрації надає можливість визначити актуальні підходи відновлення цифрового зображення через зменшення рівню шумів [15; 21]. Зазначається, що параметри математичної моделі шуму залежить від особливостей системи фотореєстрації та оптичних властивостей середовища. Сучасні програмні алгоритми зазвичай базуються на комбінації моделей гаусівського та пуассонівського розподілу шуму, але у аналіз також може бути включено розподіл Релея та розподіл Ерланга [15; 21]. Після визначення розподілу шуму до матриці зображення застосовується просторова фільтрація, що є інструментом для видалення адитивної компоненти шуму. Алгоритми просторової фільтрації при цьому можуть базуватись на обчисленні середнього значення [20], порядкових статистиках [5], як то медіанних фільтрах, обчисленні максимального і мінімального значення та виборі середньої точки, а також фільтрах, що базуються на вейвлет-перетворенні [6]. Наступними етапами відновлення матриці зображення є застосування морфологічних методів, що разом з застосуванням зв'язкових компонент і граничних методів може бути використано для попередньої сегментації зображення [8; 12; 18]. При цьому зазначається складність впровадження відповідних алгоритмів для обробки кольорових зображень за умов обмеження обчислювального ресурсу апаратно-програмної платформи [5; 6; 8; 12; 18], що розглядається як невіршена частина загального дослідження.

**Метою статті** є побудова цілісної методики відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення програмними методами у відповідності до адитивної колірної схеми системи фотореєстрації без включення у дослідження методів компенсації оптичних абераций системи фотореєстрації та просторової фільтрації вхідних даних.

### 1. Постановка задачі відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення

Складові масиву потокових даних системи фотореєстрації, що представляють собою набори цифрових зображень, на математичному рівні формалізуються через введення наборів двовимірних матриць  $RGB: \{R(x, y); G(x, y); B(x, y)\}$ , кожна з яких являє собою колірний канал у відповідності до колірної схеми RGB. Діапазон, у якому визначається кожен з елементів матриць колірних каналів  $R(x, y), G(x, y), B(x, y) \in [0; I]$  відповідає динамічному діапазону матриці, у той час як діапазони  $x \in [1; X]$  і  $y \in [1; Y]$  відповідають роздільній здатності матриці зображення  $X \times Y$  (рис. 2).



**Рис. 2. Математична модель матриці цифрового зображення у відповідності до адитивної колірної схеми RGB**

Слід зазначити, що для ряду задач колірна схема може бути розширена через включення додаткового каналу, представленого матрицею  $T(x, y)$ , який визначає рівень прозорості базового елементу

(пікселя) матриці цифрового зображення, що в загальному випадку характеризується власним динамічним діапазоном  $T(x, y) \in [0; I_T]$ . Також у рамках моделі може бути обрана інша адитивна колірна схема, у відповідності до задачі дослідження.

У рамках дослідження пропонується побудувати комплексну методику відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення програмними методами з адаптацією до адитивної колірної схеми системи фотореєстрації, що включає у себе наступні етапи (рис. 3):

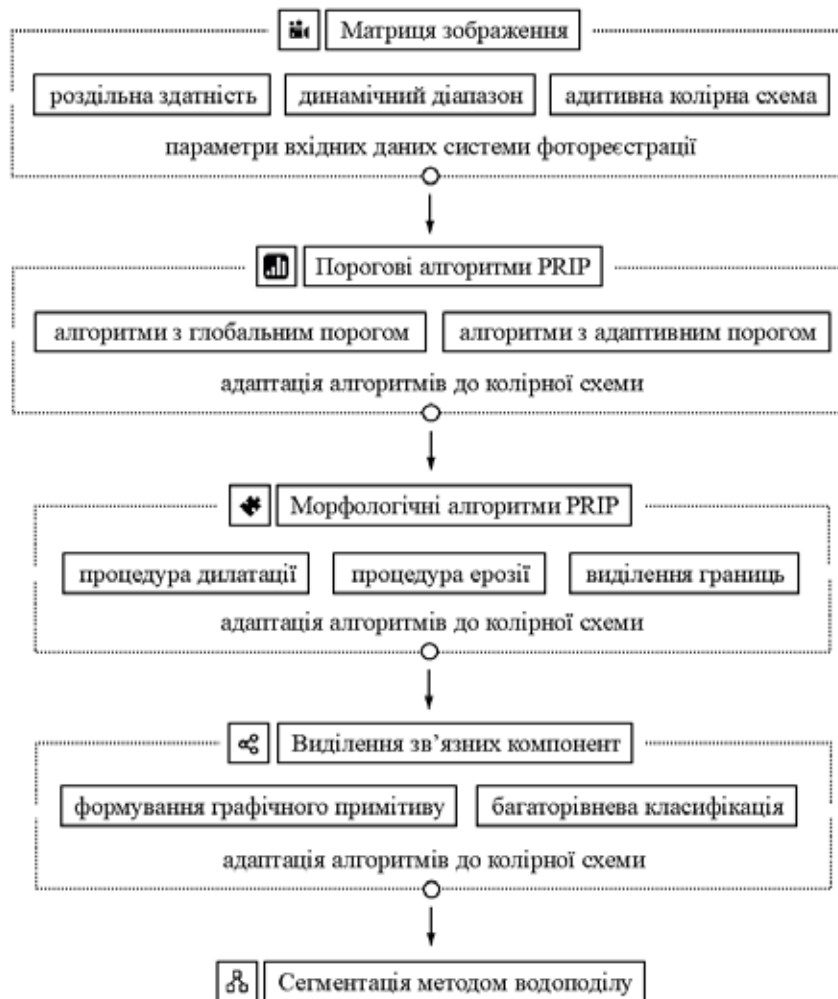


Рис. 3. Базова схема відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення

1. Визначення формату представлення вхідних даних, як то роздільна здатність, динамічний діапазон та адитивна колірна схема матриці зображення

2. Застосування порогових методів PRIP, що може включати у себе як застосування алгоритмів з глобальним порогом, так і алгоритмів з адаптивним порогом адаптовані до адитивної колірної схеми матриці зображення.

3. Застосування морфологічних алгоритмів PRIP, що включає у себе процедуру дилатації, процедуру ерозії та виділення границь з подальшою адаптацією до адитивної колірної схеми матриці зображення.

4. Виділення зв'язних компонент матриці зображення, що включає у себе вибір графічного примітиву та формування багаторівневої класифікації з подальшою адаптацією до адитивної колірної схеми матриці зображення.

5. Проведення попередньої сегментації матриці зображення програмними алгоритмами на основі методу водоподілу.

При цьому в основі побудови цілісної методики відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення лежить адаптація зазначених підходів, що може бути застосована у середовищі апаратно-програмної платформи UAV у відповідності до обмеження обчислювального ресурсу та необхідності обробки поточкових даних у режимі реального часу.

## 2. Впровадження порогових методів при побудові програмних алгоритмів PRIP

Застосування порогових алгоритмів PRIP матриці цифрового зображення є базовим підходом відновлення та налаштування вхідних даних. У основі зазначеного алгоритму лежить циклічне повторення наступного набору процедур: (i) визначення або уточнення порогового значення, що використовується у рамках порогового методу; (ii) попередня обробка зображення на базі порогового методу; (iii) перевірка складових елементів матриці зображення після застосування порогового методу. Визначення ефективності порогового алгоритму як складової PRIP, є поділення матриці зображення на області, для яких можна виділити тло та візуальний об'єкт.

При впровадженні зазначеної методики розробником порогового алгоритму у відповідності до поставленого завдання та обчислювального ресурсу апаратно-програмної платформи обирається схема з глобальним порогом або схема з адаптивним порогом. Якщо потокові дані системи фотореєстрації представлені набором матриць цифрових зображень у форматі «Gray Scale», кожен піксель матриці зображення  $GS(x, y)$  визначається у межах  $GS(x, y) \in [0; I]$ . Якщо порогове значення у рамках застосування алгоритму PRIP визначається як  $TH$ , множина елементів  $\{GS(x, y)\}$  може бути поділена на дві групи:

$$\begin{cases} \{GS_+(x, y)\} \text{ для } \forall GS(x, y) \geq TH \\ \{GS_-(x, y)\} \text{ для } \forall GS(x, y) < TH \end{cases} \quad (1)$$

причому кількість елементів у групі  $\{GS_+(x, y)\}$  складає  $N_+$ , кількість елементів у групі  $\{GS_-(x, y)\}$  складає  $N_-$ , а загальна кількість елементів у групі  $\{GS(x, y)\}$ , відповідно, складає  $N = N_- + N_+$ .

Програмний алгоритм з глобальним порогом є простішим у програмній реалізації порівняно з алгоритмом з адаптивним порогом. Базова схема включає у себе виконання наступних етапів:

1. Вибір порогового значення  $TH$ .
2. Вибір мінімальної точності вибору порогового значення у відповідності до максимально допустимої величини абсолютної похибки  $\Delta TH_{max}$ .
3. Поділ множини  $\{GS(x, y)\}$  на підмножини  $\{GS_+(x, y)\}$  і  $\{GS_-(x, y)\}$  у відповідності до порогового значення  $TH$ .
4. Визначення середніх значень  $\overline{GS}_+(x, y)$  і  $\overline{GS}_-(x, y)$  для множин  $\{GS_+(x, y)\}$  і  $\{GS_-(x, y)\}$ , відповідно.
5. Корекція порогового значення за формулою усереднення величин  $\overline{GS}_+(x, y)$  і  $\overline{GS}_-(x, y)$ :  
 $TH = (\overline{GS}_+(x, y) + \overline{GS}_-(x, y)) / 2$ .
6. Перехід до пункту (3) при  $TH > \Delta TH_{max}$  або завершення роботи алгоритму PRIP при  $TH \leq \Delta TH_{max}$ .

Програмний алгоритм з глобальним порогом показує низьку ефективність при  $N_- \gg N_+$  або  $N_- \ll N_+$ . Це вказує на необхідність попередньої сегментації матриці цифрового зображення, через застосування алгоритму з адаптивним порогом або впровадження додаткових програмних алгоритмів попередньої сегментації.

Адаптація порогових алгоритмів PRIP для роботи з матрицею кольорового зображеннями представлено у відповідності до адитивної кольорової схеми RGB вимагає розширення процесу порогової обробки, оскільки кожен піксель складається з трьох компонентів. Таким чином, пороговий алгоритм має застосовуватися до кожного з кольірних каналів окремо або за комбінованими характеристиками пікселя:

- порогове значення обчислюється для кожного каналу як набір  $\{TH_R; TH_G; TH_B\}$ , що надає можливість поділити пікселі на відповідні групи за трьома критеріями, як то  $R(x, y) < TH_R$ ,  $G(x, y) < TH_G$ ,  $B(x, y) < TH_B$ ;

- порогове значення обчислюється для комбінованої інтенсивності як функції від інтенсивності  $R(x, y)$ ,  $G(x, y)$  і  $B(x, y)$  кольорного каналу, як то середнього арифметичного або вагового середнього.

Розрахунок порогового значення для комбінованої інтенсивності надає можливість суттєво зменшити навантаження на обчислювальний ресурс, але призводить до втрати значної частини інформації. Таким чином, впровадження порогових алгоритмів у апаратно-програмну платформу авіоники UAV має базуватися на експериментальному дослідженні ефективності кожного з підходів.

### 3. Впровадження морфологічних методів при побудові програмних алгоритмів PRIP

У основі морфологічних методів програмних алгоритмів PRIP лежить робота з матрицею монохромного зображення  $M(x, y)$ , елементи якої приймають одне з двох значень  $M(x, y) \in \{0; 1\}$ , вибором матриці графічного примітиву (Graphical Primitive; GP), що виражається на математичному рівні як  $GP(x, y)$  і характеризується роздільною здатністю  $X_{GP} \times Y_{GP}$ , до яких застосовуються двомісні логічні оператори, як то диз'юнкція  $M(x, y) \vee GP(x, y)$ , кон'юнкція  $M(x, y) \wedge GP(x, y)$ , імплікація  $M(x, y) \Rightarrow GP(x, y)$ ,

еквіваленція  $M(x, y) \leftrightarrow GP(x, y)$  та антиеквіваленція  $M(x, y) \oplus GP(x, y)$ , що наведені у табл. 1, та одиницьний логічний оператор заперечення  $M(x, y)$ , що інвертує вхідне зображення.

Таблиця 1

**Двомісні логічні оператори, що використовуються у морфологічних методах**

$M(x, y)$	$GP(x, y)$	$M \vee GP$	$M \wedge GP$	$M \Rightarrow GP$	$M \leftrightarrow GP$	$M \oplus GP$
0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	0

Базовими процедурами, що використовуються при впровадженні морфологічних методів у програмні алгоритми відновлення матриці монохромного зображення є дилатація та ерозія:

1. Процедура дилатації використовується з метою компенсації розривів у структурних елементах матриці монохромного зображення. Застосування відповідної процедури розширює межі об'єктів, заповнюючи проміжки між сусідніми пікселями. Для відновлення початкового розміру візуальних об'єктів після застосування процедури дилатації має бути застосована процедура ерозії.

2. Процедура ерозії використовується з метою видалення артефактів, що є меншими за структурні елементи матриці монохромного зображення. Застосування відповідної процедури звужує області візуальних об'єктів об'єктами, видаляючи ізольовані пікселі. Для відновлення початкового розміру візуальних об'єктів після застосування процедури ерозії має бути застосована процедура дилатації.

Зазначені процедури використовуються для контурного виділення границь матриці монохромного зображення та інших актуальних програмних алгоритмів PRIP.

Адаптацію процедур ерозії та дилатації для роботи з матрицею кольорового зображення у рамках дослідження пропонується проводити у відповідності до одного з наступних методів:

1. Канальна обробка зображення. Кожен колірний канал обробляється як окреме монохромне зображення. Після цього оброблені канали об'єднуються, відновлюючи вихідне кольорове зображення.

2. Обчислення мінімуму і максимуму. Для процедури дилатації визначається максимальне значення пікселів для кожного каналу в межах структурного елемента, тоді як для ерозії – мінімальне значення. Це допомагає зберегти початкові налаштування матриці зображення, уникаючи появи артефактів на границях візуальних об'єктів.

Представлені підходи з адаптації морфологічних процедур для матриці кольорового зображення дозволяє зберегти цілісність візуальних об'єктів і мінімізувати спотворення колірної схеми, за умов мінімізації навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи UAV.

**4. Визначення зв'язних компонент при побудові програмних алгоритмів PRIP**

Процедура визначення зв'язних компонент між структурними елементами матриці цифрового зображення можна розглядати як попередній етап виділення візуальних елементів і сегментації. Показник зв'язності визначається через відповідність параметрів сусідніх компонентів, що, очевидно, включає у себе формалізацію на математичному рівні показників відповідності та близькості структурних елементів.

Для матриці монохромного зображення  $M(x, y)$  множина  $CC_i$  зв'язних компонент (Connected Components; CC) визначається по відношенню до сусідніх компонент для початкової координати  $\{x_0; y_0\}$ , що представляють собою область  $\{M_0(x, y)\}$ , зв'язність яких оцінюється за допомогою графічного примітиву як двовимірної матриці  $GP(x, y)$  з застосуванням таких двомісних логічних операторів як кон'юнкція і антиеквіваленція:

$$CC_i = (CC_{i-1} \oplus GP) \wedge M_0 \text{ для } i \in [1; I]. \tag{2}$$

Процедура визначення зв'язних компонент між структурними елементами матриці кольорового зображення може бути реалізована аналогічним чином з врахуванням не тільки просторової відстані, але й характеристик сусідніх пікселів. Зв'язні компоненти визначаються для кожного з кольорних каналів оемо, з подальшою інтеграцією отриманих результатів для формування єдиного представлення. Відповідно, зв'язність компонент оцінюється на основі порівняння кольорових значень сусідніх пікселів у трьох каналах. При цьому  $GP(x, y)$  залишається графічним примітивом, але для кольорового зображення оператори кон'юнкції та антиеквіваленції застосовуються до кожного з кольорних каналів, що дозволяє отримати комплексне уявлення про зв'язність на основі всіх трьох кольорових компонент.

## 5. Впровадження методу водоподілу при побудові програмних алгоритмів попередньої сегментації

Впровадження методу водоподілу при побудові програмних алгоритмів попередньої сегментації включає у себе виявлення та усунення розривів у границях областей, порогова обробка матриці зображення та обробку областей. Для пікселів матриці цифрового зображення у форматі «Gray Scale» визначаються набір елементів  $\{GS_{\uparrow}(x, y)\}$  з максимальним значенням  $GS(x, y) = I_{max}$ , набір елементів  $\{GS_{\downarrow}(x, y)\}$  з мінімальним значенням  $GS(x, y) = I_{min}$  і набір елементів  $\{GS_{\uparrow\downarrow}(x, y)\}$ , що лежить у межах  $I_{min} < GS(x, y) < I_{max}$ . Кількість елементів для кожної групи складає  $N_{\uparrow}$ ,  $N_{\downarrow}$  і  $N_{\uparrow\downarrow}$ , відповідно, причому загальна кількість складає суму відповідних значень  $N = N_{\uparrow} + N_{\downarrow} + N_{\uparrow\downarrow}$ . Процедура попередньої сегментації методом водоподілу базується на розширенні областей  $\{GS_{\downarrow}(x, y)\}$  через застосування процедури дилатації. При перетині границь підмножин  $\{GS_{\downarrow}(x, y)\}$  на місці їх перетину утворюються елементи множини границь  $\{GS_B(x, y)\}$ , по відношенню до яких процедура дилатації не застосовується. Для уникнення надлишкової сегментації, що пов'язана з дефектами зображення, кількість областей обмежується через введення маркерів як зв'язних компонент елементів. При адаптації методу водоподілу для кольорових зображень, кожен колірний канал розглядається окремо як матриця у форматі «Gray Scale», для якої застосовується процедура сегментації. Завдяки цьому адаптованому підходу, можливе зменшення надлишкової сегментації кольорових зображень шляхом введення додаткових маркерів для виділення структурних компонентів структурних об'єктів в кожному колірному каналі, що забезпечує підвищену точність сегментації.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження було проаналізовано особливості відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення програмними методами у відповідності до адитивної колірної схеми системи фотореєстрації.

При цьому у рамках дослідження було:

- проведено постановку задачі відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення;
- визначено особливості застосування порогових методів при побудові програмних алгоритмів попередньої обробки матриці цифрового зображення;
- визначено особливості застосування морфологічних методів при побудові програмних алгоритмів попередньої обробки матриці цифрового зображення;
- визначено особливості визначення зв'язних компонент при побудові програмних алгоритмів попередньої обробки матриці цифрового зображення;
- визначено особливості впровадження методу водоподілу при побудові програмних алгоритмів попередньої сегментації матриці цифрового зображення.

### Список використаних джерел:

1. A UAV Detection Algorithm Based on an Artificial Neural Network / Zhang H., Cao C., Xu L., Gulliver T. A. *IEEE Access*. 2018. № 6. P. 24720–24728.
2. Bomfin R., Chafii M., Fettweis G. Performance assessment of orthogonal Chirp Division Multiplexing in MIMO space time coding. *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/5gwf.2019.8911635>.
3. Collins W. Tracking Extremes in Exascale Simulations Utilizing Exascale Platforms. *Exascale Systems*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.2172/1769788>.
4. Deep Sat V2: feature augmented convolutional neural nets for satellite image classification / Liu Q., Basu S., Ganguly S., Mukhopadhyay S., DiBiano R., Karki M., Nemani R. *Remote Sensing Letters*. 2019. № 11 (2). P. 156–165.
5. Dinc S., Parra L. A three-layer spatial-spectral hyperspectral image classification model using guided median filters. *Proceedings of the 2021 ACM Southeast Conference*. 2021. № 7. P. 122–129. DOI: <https://doi.org/10.1145/3409334.3452045>.
6. Feng L., Wang J. Research on image denoising algorithm based on improved wavelet threshold and non-local mean filtering. *2021 IEEE 6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*. 2021. P. 493–497. DOI: <https://doi.org/10.1109/icsip52628.2021.9688900>.
7. Huang C., Nguyen M. X-Ray Enhancement Based on Component Attenuation, Contrast Adjustment, and Image Fusion. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2019. № 28 (1). P. 127–141. DOI: [10.1109/tip.2018.2865637](https://doi.org/10.1109/tip.2018.2865637).
8. Huang C., Nguyen M. X-Ray Enhancement Based on Component Attenuation, Contrast Adjustment, and Image Fusion. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2019. № 28 (1). P. 127–141. DOI: [10.1109/tip.2018.2865637](https://doi.org/10.1109/tip.2018.2865637).
9. Karim T., Tasneem T. Analytical Adjustment of Image Contrast. *International Journal of Computer Applications*. 2014. № 98 (20). P. 44–49. DOI: [10.5120/17303-7794](https://doi.org/10.5120/17303-7794).
10. Kim Y. W. Multi-GPU server design parameters selection based on empirical observation of HPL behavior. *2021 36th International Technical Conference on Circuits / Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*. 2021. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/itc-csc52171.2021.9501469>.
11. Lake B. M., Salakhutdinov R., Tenenbaum J. B. Human-level concept learning through probabilistic program induction. *Science*. 2015. № 350 (6266). P. 1332–1338.

12. Lee S., Kim T., Choi Y. Pseudo-RGB-based place recognition through thermal-to-RGB image translation. *Journal of Korea Robotics Society*. 2023. № 18 (1). P. 48–52. DOI: <https://doi.org/10.7746/jkros.2023.18.1.048>.
13. Purwono N., Syetiawan A. Application of UAV with fish-eye lenses camera for 3D surface model reconstruction application of UAV with fish-eye lenses camera for 3D Surface Model Reconstruction. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*. 2018. № 5 (1). P. 115. DOI: <https://doi.org/10.14710/geoplanning.5.1.115-130>.
14. Ren Y., Tang L. A nonconvex and nonsmooth anisotropic total variation model for image noise and blur removal. *Multimedia Tools and Applications*. 2019. № 79 (1–2). P. 1445–1473. DOI: [10.1007/s11042-019-08179-8](https://doi.org/10.1007/s11042-019-08179-8).
15. Seelamantula C. S., Blu T. Image denoising in multiplicative noise. *2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2015. DOI: [10.1109/icip.2015.7351056](https://doi.org/10.1109/icip.2015.7351056).
16. Sone Y., Yamamoto S. Latest trends in 400 – and beyond 400-Gbit / s ethernet standardization in IEEE 802.3. *NTT Technical Review*. 2021. № 19 (10). P. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.53829/ntr202110gls>.
17. Suzuki Y., Ozaki T. Stacked Denoising Autoencoder-Based Deep Collaborative Filtering Using the Change of Similarity. *2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*. 2017. DOI: [10.1109/waina.2017.72](https://doi.org/10.1109/waina.2017.72).
18. Vincent L., Heijmans H. Graph Morphology in Image Analysis. *Mathematical Morphology in Image Processing*. 2018. P. 170–203. DOI: [10.1201/9781482277234-6](https://doi.org/10.1201/9781482277234-6).
19. Wierzbicki D. Multi-camera Imaging System for UAV photogrammetry. *Sensors*. 2018. № 18 (8). P. 2433. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082433>.
20. Zghidi H., Świtoński A., Drażek G. Multispectral image filtering using the mean shift algorithm. *AIP Conference Proceedings*. 2015. № 1648. P. 850057. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4913112>.
21. Zhang C., Liu W., Xing W. Color image enhancement based on local spatial homomorphic filtering and gradient domain variance guided image filtering. *Journal of Electronic Imaging*. 2018. № 27 (06). P. 1. DOI: [10.1117/1.jei.27.6.063026](https://doi.org/10.1117/1.jei.27.6.063026).