

ISSN 2786-5460 (Print)
ISSN 2786-5479 (Online)

МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ
INTERREGIONAL ACADEMY OF PERSONNEL MANAGEMENT



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУСПІЛЬСТВО

INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY

Випуск 3 (14), 2024
Issue 3 (14), 2024



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Міжрегіональної Академії управління персоналом
(протокол № 11 від 30 жовтня 2024 року)*

Інформаційні технології та суспільство / [головний редактор О. Попов]. – Київ : Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. – Випуск 3 (14). – 54 с.

Журнал «Інформаційні технології та суспільство» є науковим рецензованим виданням, в якому здійснюється публікація матеріалів науковців різних рівнів у вигляді наукових статей з метою їх поширення як серед вітчизняних дослідників, так і за кордоном.

Редакційна колегія не обов'язково поділяє позицію, висловлену авторами у статтях, та не несе відповідальності за достовірність наведених даних і посилань.

Головний редактор: Попов О. О. – член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, в.о. директора Центру інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України.

Редакційна колегія:

Василенко М. Д. – д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія»; **Горбов І. В.** – канд. техн. наук, с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАН України; **Дуднік А. С.** – д-р техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Євсєєв С. П.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Зибін С. В.** – д-р техн. наук, доц., завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет; **Кавун С. В.** – д-р екон. наук, канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Комарова Л. О.** – д-р техн. наук, с.н.с., директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Мілов О. В.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Охріменко Т. О.** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії протидії кіберзагрозам в авіаційній галузі, Національний авіаційний університет; **Рудніченко М. Д.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Скुरатовський Р. В.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри обчислювальної математики та комп'ютерного моделювання, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Супрун О. М.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Табунщик Г. В.** – канд. техн. наук, проф., професор кафедри програмних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка»; **Фомін О. О.** – д-р техн. наук, доц., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Хохлячова Ю. Є.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет; **Чолишкіна О. Г.** – канд. техн. наук, доц., директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Чорний О. П.** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; **Юдін О. К.** – д-р техн. наук, проф., директор центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Гопесенко Віктор** – dr. sc. ing., проф., проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи», Університет прикладних наук ISMA (Латвійська Республіка); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., професор кафедри комп'ютерних наук у менеджменті, Гданський технологічний університет (Республіка Польща).

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1173 від 11.04.2024 року.

Відповідно до Наказу МОН України № 1290 від 30 листопада 2021 року (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) зі спеціальностей 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп'ютерні науки, 123 – Комп'ютерна інженерія, 124 – Системний аналіз, 125 – Кібербезпека, 126 – Інформаційні системи та технології.

Усі електронні версії статей журналу оприлюднюються на офіційній сторінці видання
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Recommended for publication
by Interregional Academy of Personnel Management
(Minutes No. 11 dated 30 October 2024)*

Information Technology and Society / [chief editor Oleksandr Popov]. – Kyiv : Interregional Academy of Personnel Management, 2024. – Issue 3 (14). – 54 p.

Journal «Information Technology and Society» is a peer-reviewed scientific edition, which publishes materials of scientists of various levels in the form of scientific articles for the purpose of their dissemination both among domestic researchers and abroad.

Editorial board do not necessarily reflect the position expressed by the authors of articles, and are not responsible for the accuracy of the data and references.

Chief editor: Oleksandr Popov – Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Engineering, Professor, Acting Director of the Center for Information-Analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Editorial Board:

Mykola Vasylenko – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, National University «Odesa Law Academy»; **Ivan Horbov** – PhD in Engineering, Senior Research Associate, Senior Research Fellow, Institute for Information Recording of NAS of Ukraine; **Andrii Dudnik** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Networking and Internet Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Serhii Yevseiev** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Serhii Zybin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering, National Aviation University; **Serhii Kavun** – Doctor of Economics, PhD in Engineering, Professor, Head of the Department of Computer Information Systems and Technologies Interregional Academy of Personnel Management; **Larysa Komarova** – Doctor of Engineering, Senior Research Scientist, Laureate of State Prize, Director of Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Oleksandr Milov** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Tetiana Okhrimenko** – PhD in Engineering, Senior Research Scientist at the Scientific Research Laboratory for Countering Aviation Cyberthreats, National Aviation University; **Mykola Rudnichenko** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Ruslan Skuratovskiy** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computational Mathematics and Computer Modeling, Interregional Academy of Personnel Management; **Olha Suprun** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Software Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Halyna Tabunshchik** – PhD in Engineering, Professor, Professor at the Department of Software Tools, “Zaporizhzhia Polytechnic” National university; **Oleksandr Fomin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Computerized Control Systems, Professor at the Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Yuliia Khokhlachova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technology Security, National Aviation University; **Olha Cholyshkina** – PhD in Engineering, Associate Professor, Director of the Institute of Computer Information Technologies and Design, Interregional Academy of Personnel Management; **Oleksii Chornyi** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Electrical Engineering and Information Technologies, Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi; **Oleksandr Yudin** – Doctor of Engineering, Professor, Director of the Cybersecurity Center of the Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Hopeienko Viktor** – dr. sc. ing., Professor, Vice Rector for Research, Director of the study programme “Computer systems”, ISMA University of Applied Sciences (Republic of Latvia); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., Profesor, Katedra Informatyki w Zarządzaniu, Politechnika Gdańska (Republic of Poland).

Registration of Print media entity:

Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine: Decision No. 1173 as of 11.04.2024.

According to the Decree of MES No. 1290 (Annex 3) dated November 30, 2021, the journal was included in the List of scientific professional publications of Ukraine (category B) in specialties 121 – Software engineering, 122 – Computer sciences, 123 – Computer engineering, 124 – Systems analysis, 125 – Cybersecurity, 126 – Information systems and technologies.

All electronic versions of articles in the collection are available on the official website edition
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

The articles were checked for plagiarism using the software
StrikePlagiarism.com developed by the Polish company Plagiat.pl.

ЗМІСТ

Андрій КИСІЛЬ

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ФОТОРЕЄСТРАЦІЇ UAV

У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ6

Володимир КОЗУБ

ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБЕРІГАННЯ У NO-SQL БАЗАХ ДАНИХ.....14

Serhii KOLOMOIETS

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL IMAGE RECOGNITION23

Олександр ПОПОВ, Андрій ЯЦИШИН, Анастасія ЛАГОЙКО, Володимир КУЦЕНКО,

Олександр КОВАЛЕНКО, Євген КРАСНОВ

СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕФЕКТУ «ЗМИВУ» ПРИ ВИМІРЮВАННІ

КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА29

Андрій СТЬОПКІН

МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ НЕОРІЄНТОВАНИХ ГРАФІВ38

Іван ШЕВЦОВ

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ EDGE COMPUTING ТА FOG COMPUTING

У СИСТЕМАХ МЕДИЧНОГО МОНІТОРИНГУ44

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 поточних 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 глибокого навчання, що характеризуються високою ресурсоемністю [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, широкосмугового 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].

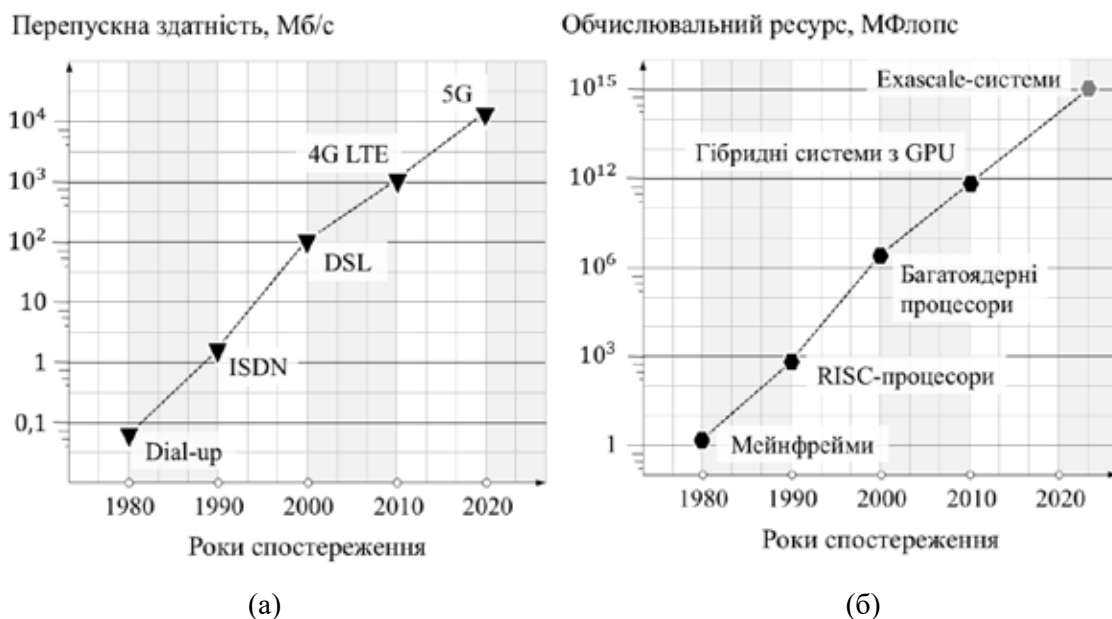


Рис. 1. Діаграма експоненційного росту (а) пропускної здатності та (б) обчислювального ресурсу інформаційних систем

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 ресурсоемних 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 пуасонівського 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 не вирішена 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 аберацій системи фотореєстрації та просторової фільтрації вхідних даних.

1. Постановка задачі відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення

Складові масиву поточкових 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).

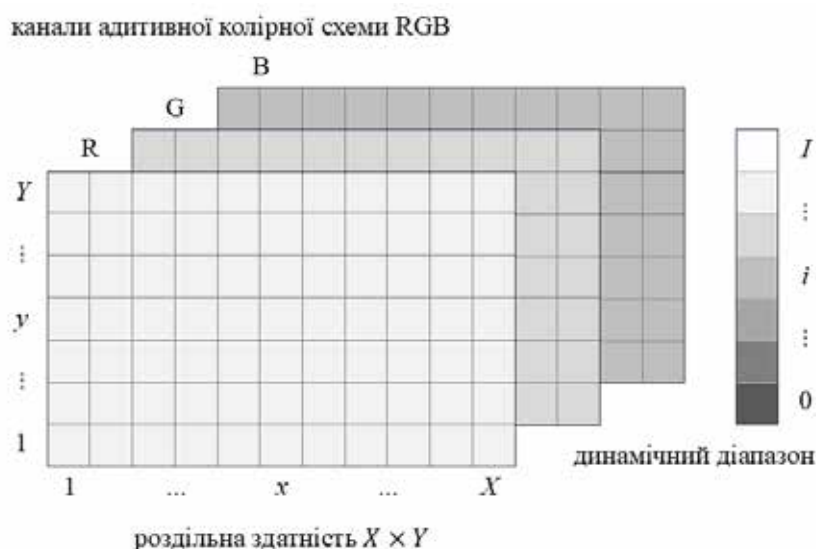


Рис. 2. Математична модель матриці цифрового зображення у відповідності до адитивної колірної схеми RGB

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):

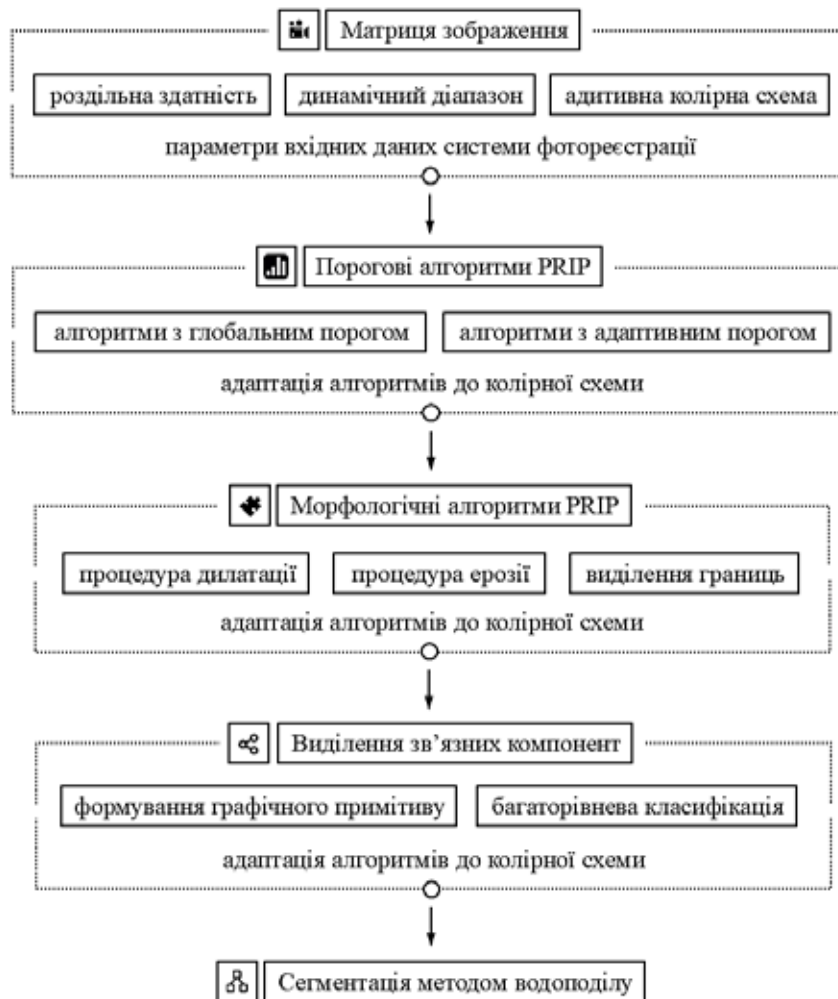


Рис. 3. Базова схема відновлення та попередньої сегментації матриці цифрового зображення

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 ΔTH_{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 базуватись 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:

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

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 колірних 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 колірних 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.
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.
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.
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. *Geopanning: Journal of Geomatics and Planning*. 2018. № 5 (1). P. 115. DOI: <https://doi.org/10.14710/geopanning.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.
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.
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.
18. Vincent L., Heijmans H. Graph Morphology in Image Analysis. *Mathematical Morphology in Image Processing*. 2018. P. 170–203. DOI: 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.