
МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

УДК 004.932.2

О.М. РЕЙДА, О.А. ПОПЛАВСЬКИЙ, М.О. РЕЙДА

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ВИДІЛЕННЯ ПРЯМОКУТНОЇ ЗОНИ ОБ'ЄКТІВ ЗОБРАЖЕННЯ

*Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна,
e-mail: reйда@vntu.edu.ua
Київський національний університет будівництва та архітектури, 03680, проспект Повітряних Сил,
31, м.Київ, Україна*

Анотація. В роботі розглянуто метод автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення, що сформовані в результаті зондування земної поверхні, для оптимізації розмірів зображення і підвищення ефективності дешифрування. Розроблено алгоритм обробки елементів зображення для підвищення ефективності групування окремих елементів у єдину структуру. Проведено моделювання для доведення ефективності запропонованого методу автоматичного виділення ефективної зони зображення. Основним інструментом який використано при розробці програмного застосунку є бібліотека з відкритим кодом OpenCV функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень і чисельних алгоритмів загального призначення.

Ключові слова: зображення, фотоплівка, групування, OpenCV, комп'ютерний зір, цифрова обробка, зона зображення.

Abstract. The automatic selection method for rectangle bounding of image objects exposed on the film is described, to optimize the image's size and increase the decoding efficiency. The image processing algorithm has been developed to improve the efficiency of grouping individual elements into a single structure. The simulation was carried out to prove the effectiveness of the proposed method. The main tool that has been used for developing the application is the open-source library of functions and algorithms of computer vision, image processing, and numerical algorithms of general-purpose OpenCV..

Keywords: image, film, grouping, OpenCV, computer vision, digital processing, image area.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-58-67

ВСТУП

Національні архіви зберігають понад десятки мільйонів фотознімків, виготовлених як державними агентствами так і приватними компаніями. Такі матеріали датуються від початку 20-го до 21-го сторіччя, охоплюючи період понад 100 років. Знімки забезпечують пряме зображення фізичного та культурного ландшафту місцевості в певний час. Вони забезпечують інформацією географів, істориків, екологів, геологів, містобудівників, археологів та інших професіоналів візуальною основою, яка часто є критичною для досліджень. Представники юридичної професії використовують фотозйомку для вирішення справ, пов'язаних із майновими спорами, правами на нерухоме і рухоме майно.

Переважає більшість таких фотознімків зберігається в архівах на фотоплівках. Зберігання таких матеріалів потребує значних капіталовкладень так, як вони мають властивість старіння і зменшення стійкості до впливу зовнішнього середовища, що може привести до пошкодження експонованих об'єктів. Тому активно проводиться цифрування таких матеріалів з метою створення розподілених баз даних, що менш вразливі до зовнішнього факторів зовнішнього середовища, мають можливість клонування і масштабування.

© О. М. РЕЙДА, О.А. ПОПЛАВСЬКИЙ, М. О. РЕЙДА, 2024

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

Традиційно, під час обробки зображень фотознімків, виділення зони об'єктів на зображенні не виконується автоматично, а вручну оператором, тому залежать від його досвіду і суб'єктивної оцінки, що може призводити до неточностей, помилок та вимагає значного робочого часу.

Розвиток методів цифрової обробки зображень в системах комп'ютерного зору дозволяє підвищити рівень автоматизації та точності аналізу зображень на фотоматеріалах. У статті розглядаються сучасні підходи та методи обробки зображень з метою виділення описаного прямокутника навколо експонованого зображення на фотоматеріалі. Особливу увагу приділено методам попередньої обробки зображень для підвищення їх якості та зменшення часу обробки.

Метою даної роботи є розробка методу автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення

ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

Процес виділення об'єктів на зображенні а поділяється на такі етапи:

1. попередня обробка зображення;
2. бінарзація зображення;
3. фільтрація зображення;
4. формування замкнутих контурів об'єктів зображення;
5. фільтрація контурів.

Попередня обробка зображень проводиться з метою фільтрації і видалення хибних об'єктів. Така обробка включає методи радіометричної корекції з метою покращення сприйняття зображення оператором або підвищенням точності виділення прямокутної зони об'єктів зображення. До методів радіометричної обробки відносяться: нормалізація гістограми зображення, еквалізація зображення і метод контрастно-обмеженої адаптивної еквалізації гістограми (CLANE).

Для проведення аналізу методів використано зображення на рис. 1 відкритої бази даних [1].



Рисунок 1 – Зображення експоновані на фотоплівці

Нормалізація гістограми зображення — це процес, який змінює діапазон значень інтенсивності пікселів. Він застосовується, наприклад, до фотографій з поганою контрастністю через наявність відблисків.

Нормалізація перетворює n-вимірне зображення у градаціях сірого зі значеннями інтенсивності в діапазоні (Min_{in} , Max_{in}), у нове зображення зі значеннями інтенсивності в діапазоні (Min_{out} , Max_{out}) [2]. Нормалізація цифрового зображення в градаціях сірого виконується за формулою (1).

$$I = (I - Min_{in}) \frac{Max_{out} - Min_{out}}{Max_{in} - Min_{in}} + Min_{out} \quad (1)$$

де: I – яскравість пікселя зображення

Min_{in} – рівень мінімальної яскравості зображення;

Max_{in} – рівень максимальної яскравості зображення;

Min_{out} – рівень мінімальної яскравості нормалізованого зображення;

Max_{out} – рівень максимальної яскравості нормалізованого зображення.

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

Результат обробки зображення (див. рис. 1) методом нормалізації представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Нормалізоване зображення

Еквалізація гистограми зображення проводиться з метою корекції розподілення яскравостей таким чином, щоб розподілити їх рівномірно по всій шкалі [2]. Такий процес дозволяє заповнити вільні частки гистограми збільшуючи контраст зображення. Для рівня I , який є рівнем яскравості на гистограмі в діапазоні ($k = 0 \dots 255$) яскравість відповідного пікселя результуючого зображення буде розраховуватися по формулі 2.

$$I = (I_{max} - I_{min}) \sum_0^I H_I + I_{min} \quad (2)$$

де: I – яскравість пікселя зображення

I_{max} – максимальний рівень яскравість на зображенні

I_{min} – мінімальний рівень яскравість на зображенні

H_I – вірогідність I яскравості на зображенні

Результат обробки зображення (див. рис. 1) методом еквалізація гистограми представлено на рис. 3.

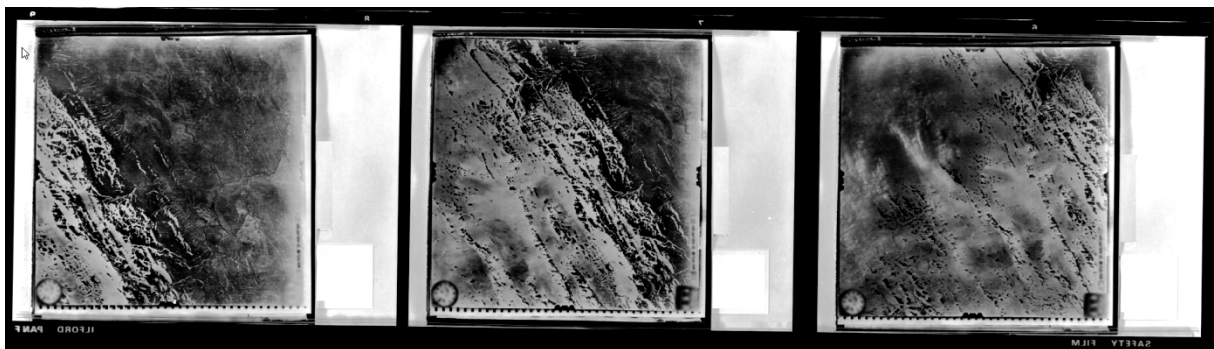


Рисунок 3 – Еквалізоване зображення

Адаптивне вирівнювання гистограми (АНЕ) — це техніка комп'ютерної обробки зображень, яка використовується для покращення контрастності зображень. Він відрізняється від звичайного вирівнювання гистограми тим, що адаптивний метод обчислює кілька гистограм, кожна з яких відповідає окремій частині зображення, і використовує їх для перерозподілу значень освітленості зображення. Таким чином, він підходить для покращення локального контрасту та покращення чіткості країв у кожній області зображення. Однак АНЕ має тенденцію до надмірного посилення шуму у відносно однорідних областях зображення. Варіант адаптивного вирівнювання гистограми, який називається адаптивним вирівнюванням гистограми з обмеженим контрастом (CLAHE) [3,7,8,9].

Результат обробки зображення (див. рис. 1) методом CLAHE представлено на рис. 4.

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

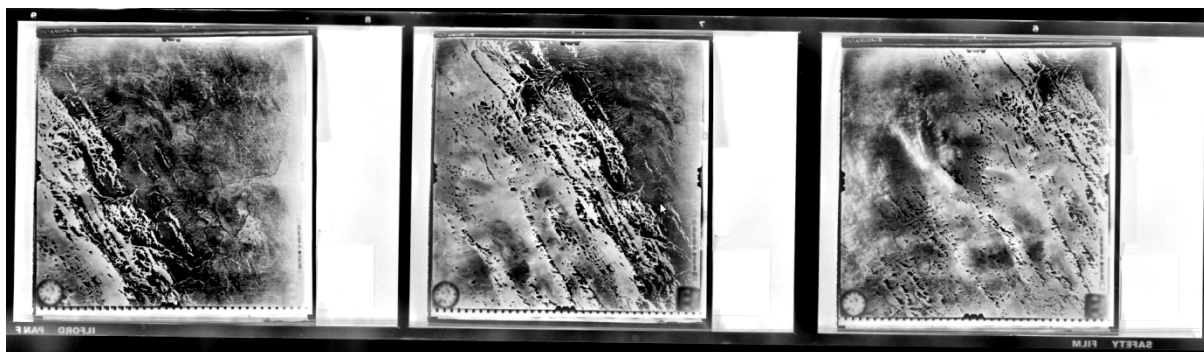


Рисунок 4 – Зображення оброблене методом CLAHE

Фільтрація бінарізованого зображення проводиться з метою видалення малорозмірних хибних об'єктів, що впливають на формування загального контуру об'єктів зображення. До методів фільтрації відносяться медіанна фільтрація вікном (MedianBlur).

Медіанний фільтр — один з видів цифрових фільтрів, широко використовуваний в цифровій обробці сигналів та зображень для зменшення рівня шуму. Медіанний фільтр є нелінійним FIR-фільтром. Значення відліків усередині вікна фільтра сортується в порядку зростання (спадання); і значення, що знаходиться в середині упорядкованого списку, надходить на вихід фільтра. У разі парного числа відліків у вікні вихідне значення фільтра дорівнює середньому значенню двох відліків в середині упорядкованого списку. Вікно переміщується уздовж сигналу, що фільтрується, і обчислення повторюються.

Бінарізація зображення проводиться з метою отримання основи для формування замкнених контурів об'єктів зображення. Для бінарізації проведено аналіз методів порогової і адаптивної порогової бінарізації [4] для розглянутих методів радіометричної корекції зображень. Результати обробки представлено на рис. 5, рис. 6, рис. 7, рис. 8, рис. 9.

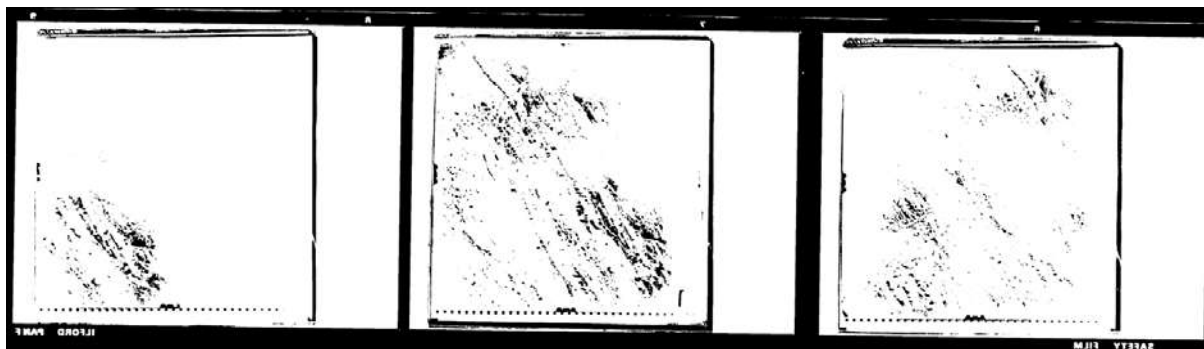


Рисунок 5 - Порогова бінарізація нормалізованого зображення

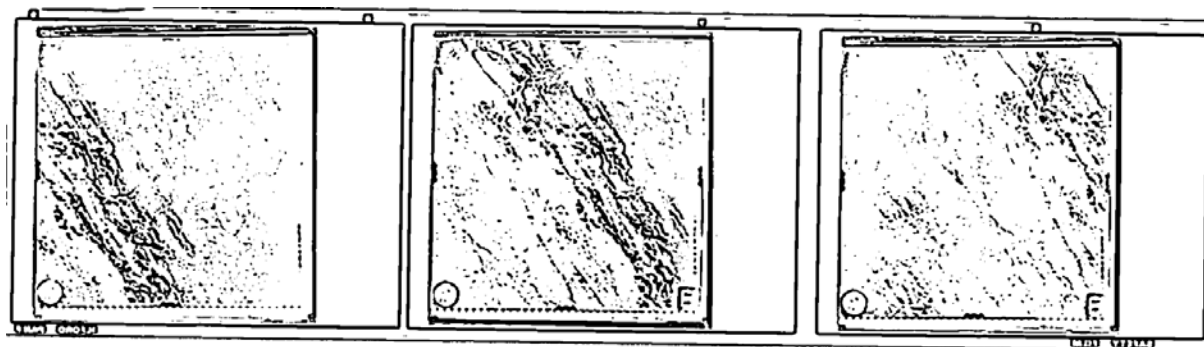


Рисунок 6 – Адаптивна порогова бінарізація нормалізованого зображення

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ



Рисунок 7 – Порогова бінарізація еквалізованого зображення

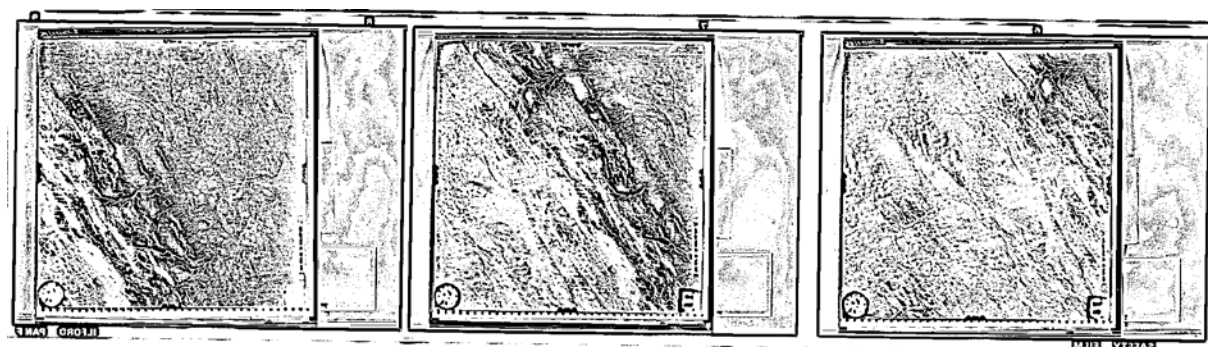


Рисунок 8 – Адаптивна порогова бінарізація еквалізованого зображення



Рисунок 9 – Порогова бінарізація зображення покращеного методом CLAHE

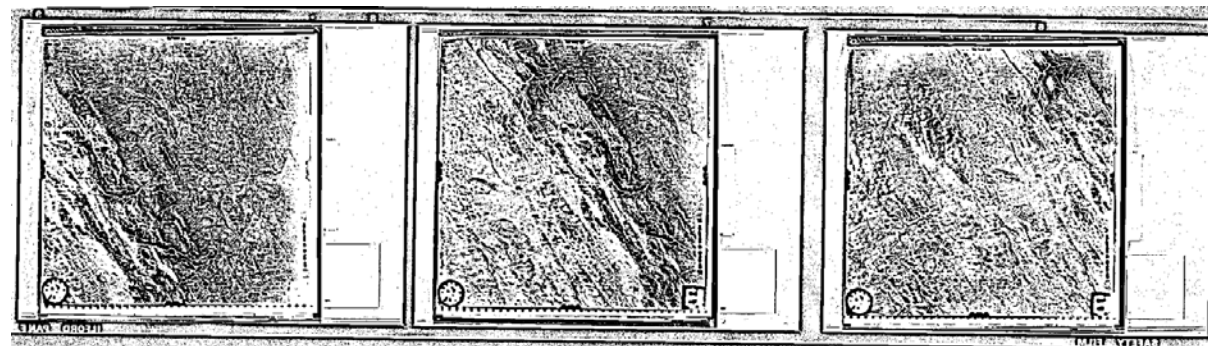


Рисунок 10 – Адаптивна порогова бінарізація зображення покращеного методом CLAHE

Формування замкнутих контурів об'єктів зображення базується на використанні детектора Canny[5], що використовує багатоетапний алгоритм для виявлення широкого спектру контурів на зображеннях. Формування контурів зображення відбувається шляхом проведення топологічного

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

структурного аналізу[6]. Результати формування контурів представлено на рис. 11, рис. 12, рис. 13, рис. 14, рис. 14, рис. 16.

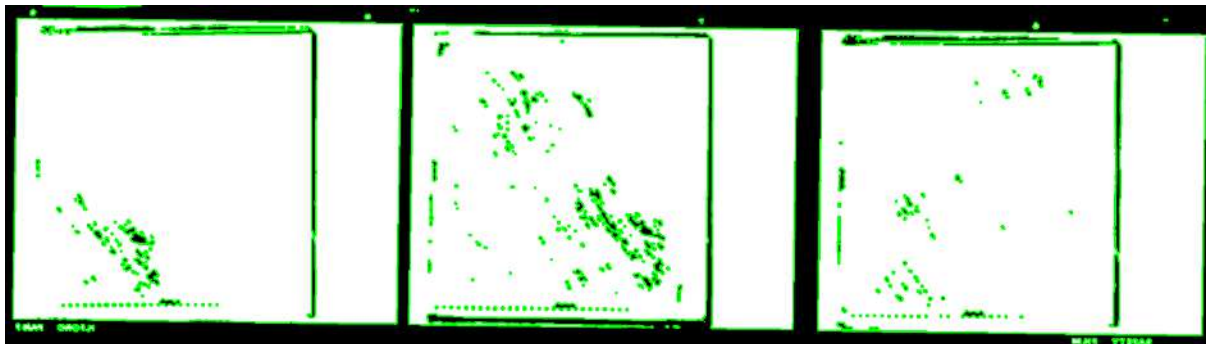


Рисунок 11 – Контури сформовані на нормалізованому зображенні з пороговою бінарizaцією

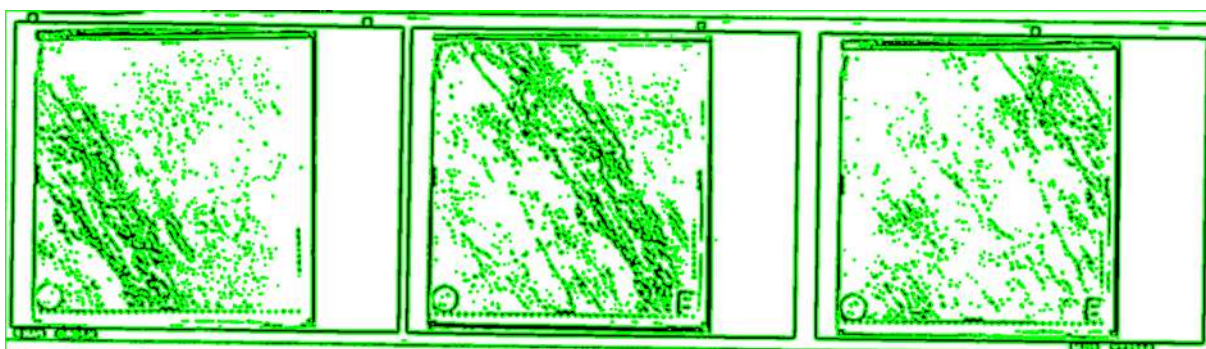


Рисунок 12– Контури сформовані на нормалізованому зображенні з адаптивною пороговою бінарizaцією

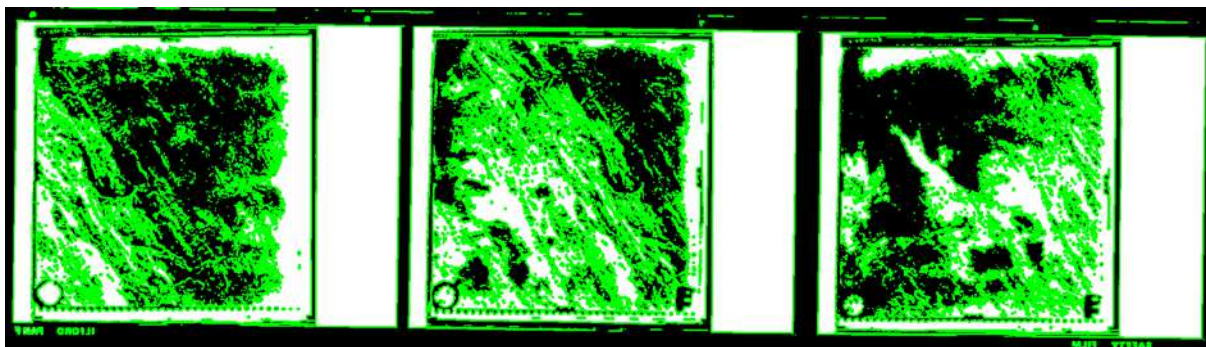


Рисунок 13 – Контури сформовані на еквалізованому зображенні з пороговою бінарizaцією

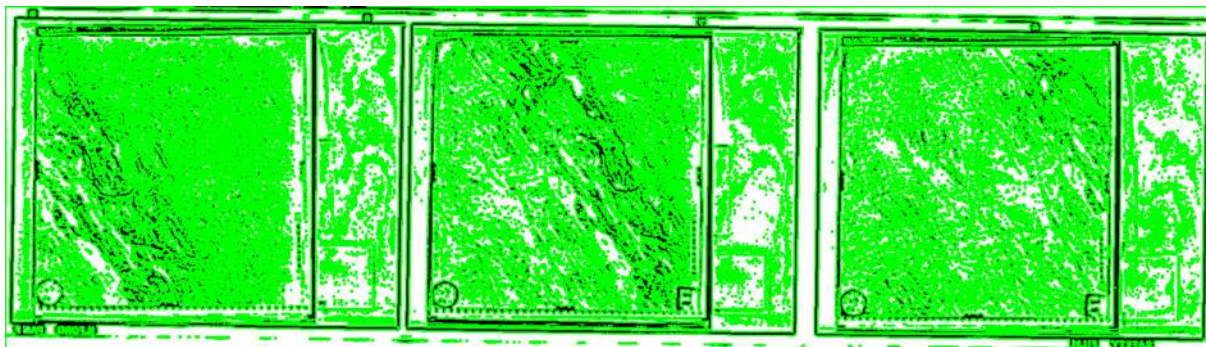


Рисунок 14 – Контури сформовані на еквалізованому зображенні з адаптивною пороговою бінарizaцією

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

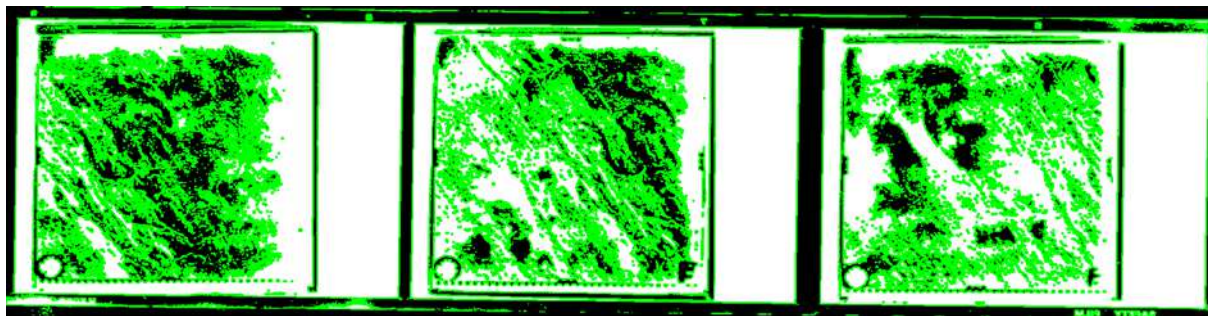


Рисунок 15 – Контури сформовані на CLAHE зображенні з пороговою бінарizaцією

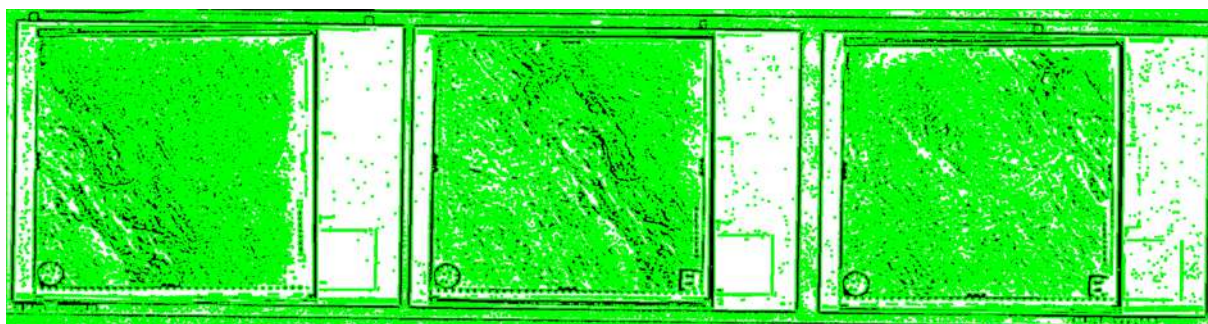


Рисунок 16 – Контури сформовані на CLAHE зображенні з адаптивною пороговою бінарizaцією

Для проведення аналізу враховано неперервність зовнішнього контуру і мінімальна кількість контурів. Відповідно до вказаних обмежень максимальної ефективності отримано при використанні методу покращення зображення CLAHE і адаптивної порогової бінарizaції. При використанні інших методів не зберігається неперервність зовнішніх контурів (рис. 17) або велика кількість малорозмірних об'єктів (рис. 18).

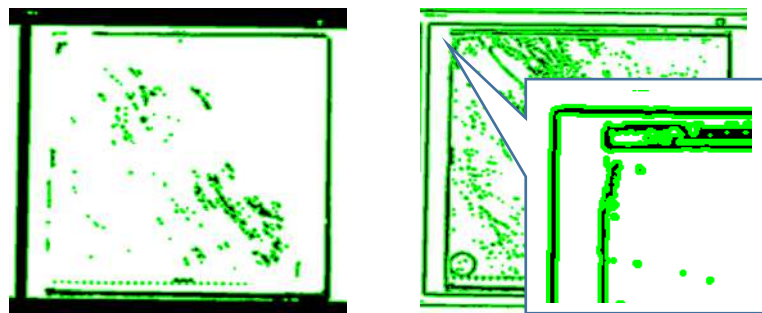


Рисунок 17 – Розрив контурів об'єктів зображення

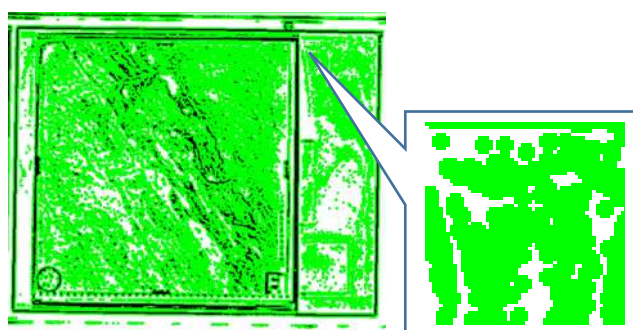


Рисунок 18 – Велика кількість малорозмірних об'єктів

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ВИДІЛЕННЯ ПРЯМОКУТНОЇ ЗОНИ ОБ'ЄКТІВ ЗОБРАЖЕННЯ

В результаті проведеного аналізу для формування контурів об'єктів зображення використано метод покращення зображення CLAHE і адаптивну порогову бінарізацію. Комбінація таких методів дозволила отримати максимальну якість і швидкодію виділення контурів об'єктів на зображенні.

Для автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення використано схему представлену на рис.19.

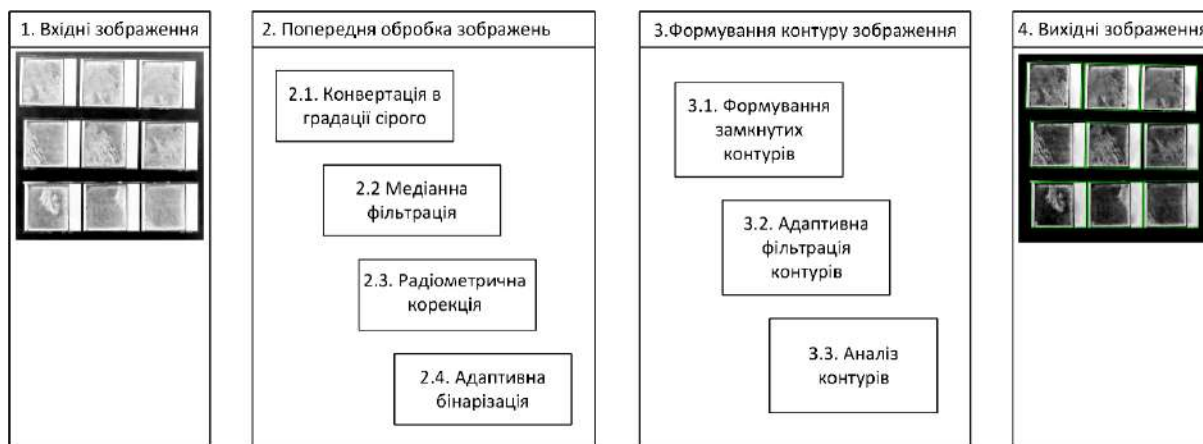


Рисунок 19 – Схема автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення

Вхідні зображення представляють собою набір чорно-білих зображень, що формуються унаслідок цифрування фотознімків. Такі зображення можуть бути розташовані під невеликим кутом, що значно ускладнює процес виділення контуру оператором, зменшуючи якість результуючого зображення. Запропонований метод автоматично визначає кут нахилу прямокутної зони зображення, що дозволяє автоматично проводити його коригування.

Попередня обробка зображень включає в себе такі етапи:

- Конвертація зображення в градації сірого, якщо це необхідно. На даному етапі проводиться зміна типу зображення з метою формування каналу яскравості, що містить максимальну інформацію про зміну яскравості в межах зображення.
- Проведення попередньої фільтрації для зменшення впливу шуму на процес обробки зображення. Використовується медіанна фільтрація вікном 7 пікселів зображення.
- Радіометрична корекція для підвищення контрастності і якості зображення для формування центрованої і нормалізованої гістограми.
- Адаптивна бінарізація для формування маски об'єктів зображення для підвищення ефективності формування контурів.

На етапі формування контуру зображення проводиться:

- Формування замкнутих контурів шляхом топографічного аналізу бінарного зображення []. Для проведення формування контурів використано метод «findContours» бібліотеки OpenCV.
- Адаптивна фільтрація контурів відповідно до алгоритму представленому на рис. 20 проводить групування або видалення контурів за ознаками.
- Аналіз контурів для визначення кутів нахилу і масштабуванням. Вихідне зображення представляє собою набір полігонів в основі яких лежать прямокутники з необхідними кутами нахилу.

Для проведення оцінки точності методу автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення використано метод контролю відхилень координат між автоматичним і ручним визначенням. Для визначення точності обчислено середньоквадратичне відхилення за формулою (3) для групи зображень, що включає 100 знімків. Точність відхилення знаходиться в межах ± 2 пікселя зображення, що достатньо для твердження про високу точність автоматичного визначення зони зображення.

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Pa - Po)^2}{4}} \quad (3)$$

де: Pa – координати точки визначеної автоматично;

Po – координати точки визначеної оператором.



Рисунок 20 – Блок-схема адаптивного алгоритму формування контуру зображення

Підсумовуючи, слід зазначити, що метод автоматичного виділення прямокутної зони об'єктів зображення дозволяє підвищити ефективність і якість обробки зображень, зокрема виділення зображень на групових цифрованих матеріалах із достатньо високою точністю. Інтеграція такого методу у системи обробки цифрованих зображень дозволить оптимізувати робочі процесів із підвищенням якості і швидкості роботи оператора.

ВИСНОВКИ

Варто зазначити, що ефективність обробки цифрованих матеріалів в значній мірі залежить від попередньої обробки. Автоматизація даного етапу дозволяє підвищити якість і зменшити час формування зображень із достатнім рівнем геометричної точності.

Результати, отримані в цьому дослідженні, базуються на використанні цифрових методів обробки зображень таких, як: нормалізація, фільтрація, трансформація зображень. Результати дослідження доводять достатньо високу геометричну точність і якість формування зон зображень для подальшої обробки. Використання паралельних методів дозволяє значно підвищити швидкість на рівні із високою точністю у програмних системах обробки цифрованих зображень.

МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. E-resources: <https://www.archives.gov/research/cartographic/aerial-photography>
2. W. K. Pratt, (2007). Digital Image Processing, PIKS Scientific Inside, 4th Edition, A John Wiley & Sons, Inc., Hoboken,.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_histogram_equalization#Contrast_Limited_AHE
4. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. (2007). Digital Image Processing (3rd Edition). Prentice Hall, August.
5. Zhou, P., Ye, W., & Wang, Q. (2011). An Improved Canny Algorithm for Edge Detection. Journal of Computational Information Systems, 7(5), 1516-1523.
6. Satoshi Suzuki (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following Satoshi Suzuki, Keiichi Abe Computer Vision, Graphics, and Image Processing Volume 30, Issue 1, April Pages 32-46.
7. Romanyuk O., Pavlov S. (2017). Fast ray casting of function-based surfaces, Przegląd elektrotechny, 5, p. 83-86.
8. Romanyuk Olexander, Pavlov Sergii, etc. (2020). A function-based approach to real-time visualization using graphics processing units, Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810E <https://doi.org/10.1117/12.2580212>
9. Timchenko Leonid, Kokriatskaia Natalia, etc. (2020). Q-processors for real-time image processing, Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810F, <https://doi.org/10.1117/12.2580230>

Надійшла до редакції 04.11.2024 р.

РЕЙДА ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, [e-mail:reyda@vntu.edu.ud](mailto:reyda@vntu.edu.ua)

ПОПЛАВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, [e-mail: apoplavskiy@gmail.com](mailto:apoplavskiy@gmail.com)

РЕЙДА МИКОЛА ОЛЕКСАНДРОВИЧ – студент гр. ІПІ-23б, кафедра програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, [e-mail: okashnik48@gmail.com](mailto:okashnik48@gmail.com)

O. REYDA, O. POPLAVSKYI, M. REYDA

THE AUTOMATIC SELECTION METHOD FOR RECTANGLE-BOUNDING OF IMAGE OBJECTS

Vinnitsa National Technical University, Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine