

МЕТОД БІНАРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ОЦУ ДЛЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто удосконалений метод бінаризації зображень Оцу з інтерактивним аналізом результатів. Запропоновано розширену реалізацію алгоритму, що дозволяє в режимі реального часу візуально оцінювати та коригувати результати бінаризації за допомогою динамічно змінюваного порогу. Досліджено ефективність методу на різних типах зображень та продемонстровано його переваги в порівнянні зі стандартними методами бінаризації. Розроблено програмний інструмент з графічним інтерфейсом, що надає можливості детального аналізу значень пікселів, візуального порівняння результатів та автоматичного розрахунку оптимального порогу. Особливу увагу приділено формуванню гістограми зображення та оцінці міжкласової дисперсії при визначенні оптимального порогу бінаризації. Результати демонструють потенціал застосування удосконаленого методу в системах розпізнавання образів, медичному аналізі зображень та промислового контролю якості.

Ключові слова: бінаризація зображень, метод Оцу, комп'ютерний зір, міжкласова дисперсія, сегментація зображень, інтерактивний аналіз, обробка зображень.

Abstract

This paper explores an enhanced Otsu image thresholding method with interactive result analysis. The proposed extended implementation of the algorithm allows real-time visual evaluation and adjustment of thresholding results using a dynamically variable threshold. The effectiveness of the method is studied on various types of images and its advantages compared to standard thresholding methods are demonstrated. A software tool with a graphical interface has been developed, providing capabilities for detailed pixel value analysis, visual comparison of results, and automatic calculation of the optimal threshold. Special attention is given to image histogram formation and between-class variance evaluation in determining the optimal thresholding value. The results demonstrate the potential of applying the enhanced method in pattern recognition systems, medical image analysis, and industrial quality control.

Keywords: image thresholding, Otsu's method, computer vision, between-class variance, image segmentation, interactive analysis, image processing.

Вступ

Бінаризація зображень є фундаментальною операцією в галузі комп'ютерного зору, що перетворює багатотонне зображення у чорно-біле, і таким чином спрощує подальший аналіз та обробку візуальної інформації. Одним із найпоширеніших методів автоматичної бінаризації є метод Оцу, запропонований японським вченим Нобуюкі Оцу у 1979 році. Цей метод автоматично визначає оптимальний поріг бінаризації, максимізуючи міжкласову дисперсію інтенсивностей пікселів, що забезпечує оптимальне розділення об'єктів та фону на зображенні.

Не зважаючи на широке застосування методу Оцу в різноманітних системах обробки зображень, дослідники та практики часто стикаються з проблемою відсутності інтерактивних засобів для аналізу та коригування результатів бінаризації в режимі реального часу. Особливо це актуально в контексті освітніх застосувань, дослідницьких проєктів та налаштування систем машинного зору, де важливо розуміти, як саме формується поріг бінаризації та як він впливає на результат.

У даному дослідженні представлено удосконалений підхід до бінаризації зображень методом Оцу, що включає в себе не лише алгоритмічні покращення, але й розробку інтерактивного графічного інтерфейсу для детального аналізу результатів. Запропонований інструмент дозволяє користувачам візуально оцінювати розподіл інтенсивностей пікселів, динамічно змінювати поріг бінаризації, порівнювати оригінальне та бінаризоване зображення, а також аналізувати значення пікселів вздовж визначених ліній аналізу.

Метою є застосування методу Оцу для бінаризації зображень шляхом розробки інтерактивного інструменту з розширеними можливостями аналізу та візуалізації результатів. Особлива увага

приділяється алгоритму розрахунку оптимального порогу, що базується на максимізації міжкласової дисперсії, та можливостям його практичного застосування в різних сферах комп'ютерного зору.

Результати дослідження

У рамках дослідження було розроблено програмну систему з графічним інтерфейсом, що реалізує удосконалений метод бінаризації Оцу та надає розширені можливості для аналізу результатів. Система дозволяє завантажувати зображення, автоматично розраховувати оптимальний поріг методом Оцу, застосовувати бінаризацію та візуально оцінювати результати.

Алгоритм Оцу, реалізований у системі, базується на аналізі гістограми інтенсивностей пікселів зображення та пошуку такого порогу, який максимізує міжкласову дисперсію. Це забезпечує оптимальне розділення пікселів на два класи – об'єкт і фон. Реалізація алгоритму включає наступні кроки:

1. Перетворення вхідного зображення у градації сірого.
2. Розрахунок гістограми інтенсивностей пікселів.
3. Обчислення суми всіх інтенсивностей, зважених відповідно до їх частоти.
4. Ітеративний перебір усіх можливих порогів (від 0 до 255).
5. Для кожного порогу обчислення ваг та середніх значень для двох класів.
6. Розрахунок міжкласової дисперсії.
7. Вибір порогу, що максимізує міжкласову дисперсію.
8. Застосування знайденого порогу для бінаризації зображення.

Експериментальні дослідження на наборі тестових зображень показали високу ефективність методу Оцу для різних типів візуального контенту. При цьому було встановлено, що в окремих випадках, особливо для зображень з нерівномірним освітленням або складною текстурою, автоматично визначений поріг може потребувати ручного коригування для досягнення оптимальних результатів бінаризації.

Для вирішення цієї проблеми в розробленій системі реалізовано можливість інтерактивного налаштування порогу бінаризації за допомогою слайдера, що дозволяє автоматизувати процес отримання бінаризованого зображення в порівнянні порогу вибору. Крім того, система надає можливість порівняння оригінального та бінаризованого зображення в режимі реального часу, що значно спрощує процес оцінки результатів.

Особливо корисною функцією розробленої системи є можливість аналізу значень пікселів вздовж інтерактивно розміщеної лінії аналізу. Це дозволяє детально вивчати розподіл інтенсивностей пікселів у різних частинах зображення та краще розуміти, як саме формується оптимальний поріг бінаризації. Користувач може переміщувати лінію аналізу мишею та отримувати детальну інформацію про кольори пікселів під цією лінією, включаючи їх RGB-значення та візуальне представлення.

Порівняльний аналіз стандартного методу Оцу та його удосконаленої версії з інтерактивним аналізом показав, що інтерактивний підхід дозволяє досягти більш точних результатів бінаризації для складних зображень, особливо в таких сферах, як медична візуалізація, аналіз супутникових знімків та промисловий контроль якості. У випадках, коли автоматично визначений поріг не забезпечує оптимального розділення об'єктів та фону, можливість ручного налаштування порогу з візуальним зворотним зв'язком значно підвищує якість кінцевого результату.

Діаграма послідовностей ілюструє процес інтеграції дистильованої великої мовної моделі (LLM) для автоматичного обчислення математичних прикладів у навчальних платформах, як це зображено на рисунку 1.

Запропонована діаграма послідовностей (рис. 1) відображає процес бінаризації зображення з використанням удосконаленого методу Оцу. Процес починається із завантаження вхідного зображення користувачем, після чого система перетворює його в градації сірого для подальшої обробки. Далі алгоритм Оцу аналізує гістограму зображення та розраховує оптимальний поріг бінаризації шляхом максимізації міжкласової дисперсії. Після цього система застосовує знайдений поріг для створення бінаризованого зображення.

Користувач має можливість оцінити результат бінаризації візуально та, за необхідності, скоригувати поріг вручну за допомогою інтерактивного слайдера. При зміні порогу система миттєво оновлює бінаризоване зображення, що дозволяє в режимі реального часу оцінювати вплив різних значень порогу на результат.

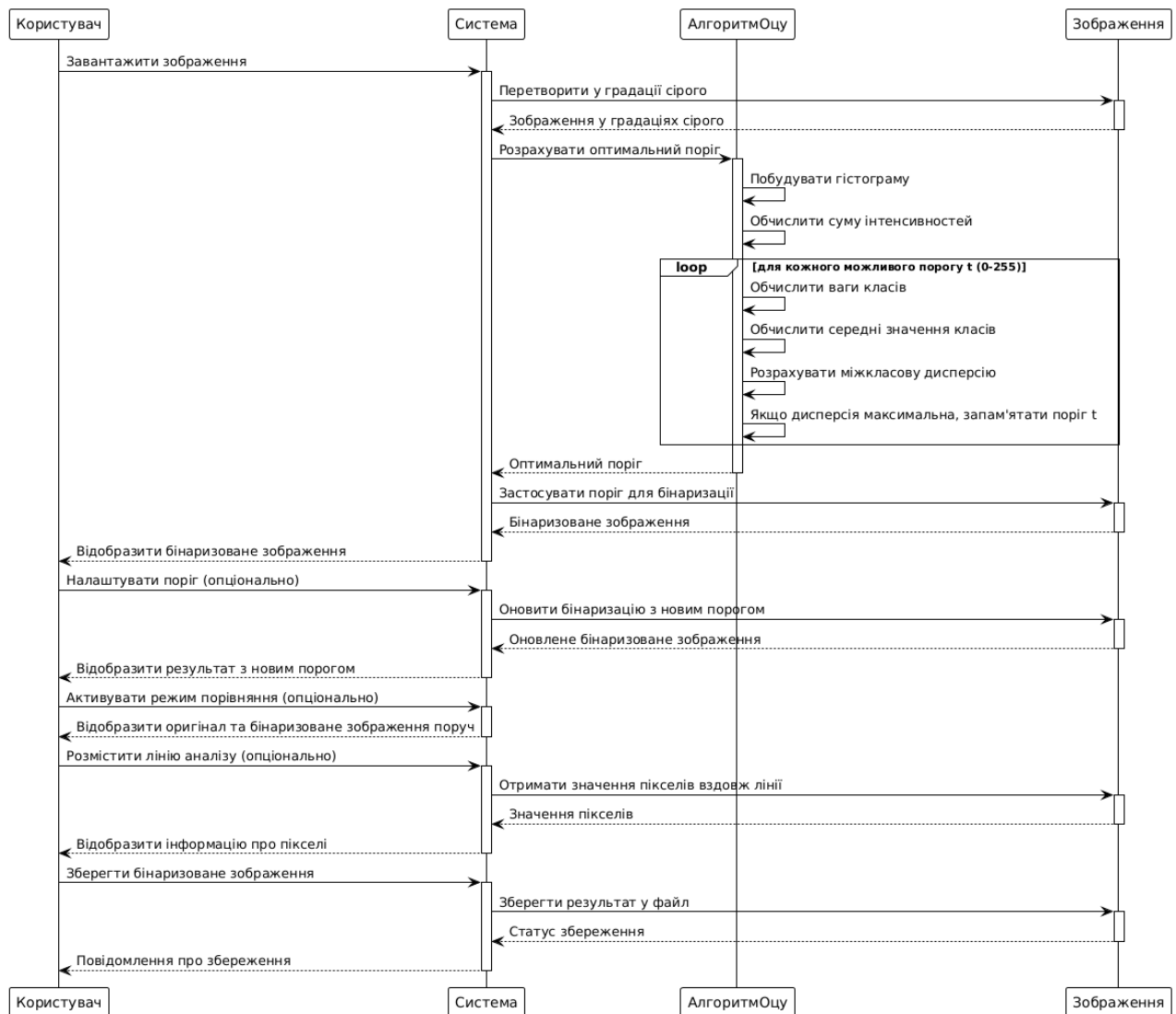


Рис. 1. UML-діаграма послідовностей процесу бінаризації зображення удосконаленим методом Оцу

Крім того, користувач може активувати режим порівняння, який відображає оригінальне та бінаризоване зображення поруч, а також аналізувати значення пікселів вздовж лінії аналізу, що значно підвищує інформативність та дозволяє глибше зрозуміти алгоритм бінаризації.

Додатковим вдосконаленням розробленої системи є функція пошуку пікселів за заданим кольором, що дозволяє ідентифікувати області зображення з певними характеристиками кольору. Це особливо корисно при аналізі складних зображень, де важливо виділити об'єкти специфічного кольору або текстури.

Для оцінки удосконаленого методу Оцу було проведено серію експериментів на наборі тестових зображень різних типів, включаючи фотографії природних сцен, медичні зображення, документи та промислові об'єкти. Результати експериментів показали, що автоматично визначений методом Оцу поріг у більшості випадків забезпечує високу якість бінаризації, особливо для зображень з чітким розділенням об'єктів та фону. При цьому для зображень зі складною текстурою або нерівномірним освітленням інтерактивне коригування порогу дозволило значно покращити результати.

Окрему увагу було приділено оптимізації алгоритму розрахунку порогу Оцу для забезпечення високої швидкодії системи навіть при роботі з великими зображеннями. Реалізований алгоритм демонструє лінійну складність відносно розміру зображення, що дозволяє обробляти зображення високої роздільної здатності без суттєвих затримок.

Висновки

У результаті проведеного дослідження розроблено удосконалений метод бінаризації зображень Оцу з інтерактивними можливостями аналізу та коригування результатів. Створено програмну систему з графічним інтерфейсом, що реалізує запропонований метод та надає користувачам розширені можливості для візуалізації та аналізу процесу бінаризації.

Основними перевагами розробленого рішення є:

1. Автоматичне визначення оптимального порогу бінаризації методом Оцу з можливістю інтерактивного коригування.
2. Візуальне порівняння оригінального та бінаризованого зображення в режимі реального часу.
3. Детальний аналіз значень пікселів вздовж інтерактивно розміщеної лінії аналізу.
4. Пошук пікселів за заданим кольором для ідентифікації специфічних областей зображення.
5. Висока швидкодія алгоритму навіть при роботі з великими зображеннями.

Експериментальні дослідження показали високу чіткість удосконаленого методу Оцу для різних типів зображень та підтвердили корисність інтерактивних засобів аналізу для досягнення оптимальних результатів бінаризації, особливо у випадках складних зображень з нерівномірним освітленням або складною текстурою.

Розроблена система має широкий спектр потенційних застосувань у різних галузях комп'ютерного зору, включаючи медичну візуалізацію, розпізнавання тексту, біометричну ідентифікацію, промисловий контроль якості та освітні цілі. Особливо цінною вона є в контексті дослідницьких проєктів та навчальних застосувань, де важливо не лише отримати результат бінаризації, але й зрозуміти, як саме працює алгоритм та які фактори впливають на якість результату.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення функціональності системи шляхом включення додаткових методів бінаризації для порівняння з методом Оцу, реалізації адаптивної бінаризації для зображень з нерівномірним освітленням та інтеграції з іншими алгоритмами обробки зображень для створення комплексних рішень аналізу візуальної інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Otsu, N. "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Gonzalez, R. C., Woods, R. E. "Digital Image Processing". [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pearson.com/digital-image-processing> (дата звернення: 01.04.2025).
3. Sezgin, M., Sankur, B. "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation". Journal of Electronic Imaging. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.1117/1.1631315> (дата звернення: 01.04.2025).
4. Pal, N. R., Pal, S. K. "A review on image segmentation techniques". Pattern Recognition. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(93\)90135-J](https://doi.org/10.1016/0031-3203(93)90135-J) (дата звернення: 01.04.2025).
5. Sahoo, P. K., Soltani, S., Wong, A. K. C. "A survey of thresholding techniques". Computer Vision, Graphics, and Image Processing. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(88\)90022-9](https://doi.org/10.1016/0734-189X(88)90022-9) (дата звернення: 01.04.2025).
6. Shapiro, L. G., Stockman, G. C. "Computer Vision". [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pearson.com/computer-vision> (дата звернення: 01.04.2025).
7. Parker, J. R. "Algorithms for Image Processing and Computer Vision". [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wiley.com/image-processing> (дата звернення: 01.04.2025).
8. Russ, J. C. "The Image Processing Handbook". [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.crcpress.com/image-processing-handbook> (дата звернення: 01.04.2025).

Бусигіна Вероніка Павлівна – студентка групи ІПКТ-246, кафедра комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: veronikabysygina@gmail.com

Шмалюх Віталій Анатолійович – студент групи ІПКТ-246, кафедра комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: shmaliukhvitaliy@gmail.com

Науковий керівник: Білинський Йосип Йосипович – д.т.н., професор, професор кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Busyhina Veronika Pavlivna – student of 1PKT-24b group, Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: veronikabysygina@gmail.com

Shmaliukh Vitalii Anatoliyovych – student of 1PKT-24b group, Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shmaliukhvitaliy@gmail.com

Scientific advisor: Bilynsky Yosyp Yosypovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse, 95, e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com