

РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ OPENCV ТА SCIKIT-IMAGE

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Сегментація зображень є важливим етапом комп'ютерного зору, що знаходить застосування у багатьох галузях, таких як медицина, супутникова аналітика, автономний транспорт. У роботі розглядаються методи сегментації (Watershed, K-means, метод Отсу, Graph-Cut, Region Growing), реалізовані за допомогою OpenCV та scikit-image на Python. Розроблено програмне забезпечення з графічним інтерфейсом для порівняння ефективності різних методів та автоматизації аналізу

Ключові слова: Сегментація зображень, OpenCV, Python, Watershed, K-means, Graph-Cut, порогова сегментація.

Abstract

Image segmentation is an important stage of computer vision, which is used in many fields, such as medicine, satellite analytics, and autonomous vehicles. This paper discusses segmentation methods (Watershed, K-means, Otsu method, Graph-Cut, Region Growing) implemented using OpenCV and scikit-image in Python. The software with a graphical interface for comparing the effectiveness of different methods and automating the analysis is developed. Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: Image segmentation, OpenCV, Python, Watershed, K-means, Graph-Cut, threshold segmentation

Вступ

Сегментація зображень є фундаментальною задачею комп'ютерного зору, що має критичне значення для медичної діагностики, супутникового моніторингу, автономних транспортних систем та біометричної ідентифікації. У межах дослідження реалізовано п'ять алгоритмів сегментації (Watershed, K-means, метод Отсу, Graph-Cut, Region Growing) з використанням бібліотек OpenCV і scikit-image. Розроблене програмне забезпечення з інтегрованим графічним інтерфейсом забезпечує автоматизований порівняльний аналіз алгоритмів за метричними критеріями та оптимізацію вибору методу сегментації.

Основна частина

Сегментація є критичною операцією комп'ютерного зору, що забезпечує виділення об'єктів та областей інтересу. Алгоритми базуються на аналізі розподілу інтенсивності пікселів, кластеризації, графових моделях або топологічних характеристиках. Універсального методу не існує, оскільки ефективність залежить від морфологічних особливостей зображення та специфіки завдання.

Реалізовано п'ять алгоритмів сегментації: Watershed, K-means, метод Отсу, Graph-Cut, Region Growing. Watershed базується на топографічному аналізі зображення, K-means здійснює кластеризацію пікселів, метод Отсу визначає оптимальний поріг, Graph-Cut застосовує енергетичні моделі, Region Growing формує сегменти шляхом інкрементального додавання пікселів за критерієм схожості.

Сегментацію реалізовано з використанням OpenCV і scikit-image, що забезпечують необхідний інструментарій для обробки зображень. NumPy застосовано для операцій з масивами даних, Matplotlib — для візуалізації результатів. Графічний інтерфейс на PyQt5 інтегрує функції завантаження зображень, застосування методів сегментації та оцінки їх ефективності.

Для порівняння методів сегментації застосовано метрики IoU та Dice, які оцінюють точність розподілу областей. Аналіз показав, що Watershed ефективний для зображень із чіткими межами, K-means — для кольорових зображень, метод Отсу — для двійкової сегментації, Graph-Cut чутливий до початкових умов, а Region Growing демонструє високу ефективність за малих градієнтів яскравості.

На рисунку 1 наведено схему workflow сегментації зображень. Діаграма відображає процес вибору алгоритму, його характеристику, оцінку результатів за метриками IoU та Dice, аналіз ефективності методів та їх інтеграцію з графічним інтерфейсом.

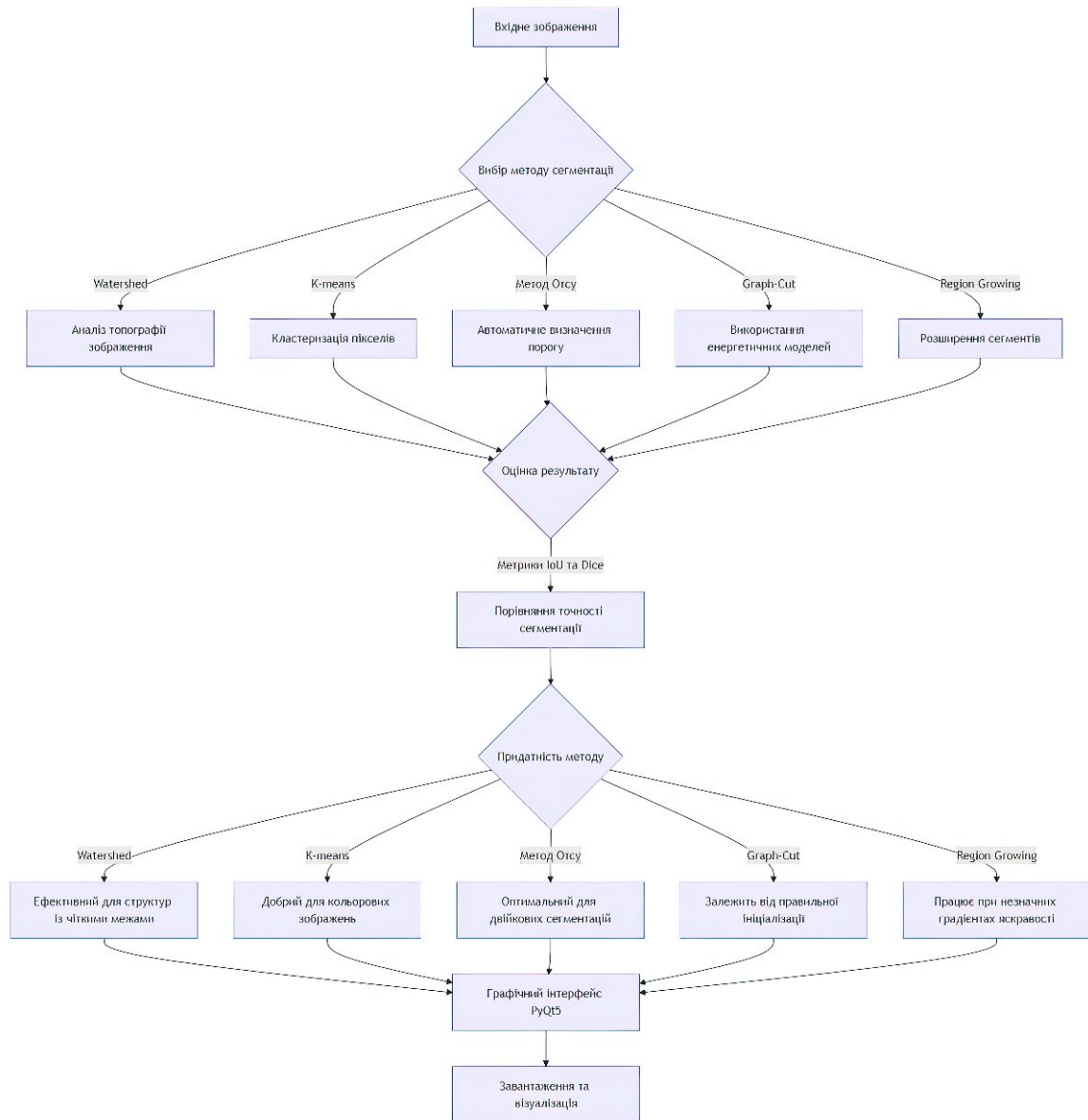


Рисунок 1 – Комплексний підхід до сегментації зображень

Результати дослідження

На фінальному етапі дослідження проведено порівняльний аналіз ефективності алгоритмів сегментації зображень: Watershed, K-means, метод Отсу, Graph-Cut, Region Growing. Для кожного методу виконано тестування на вибірці зображень різної структури, що дозволило оцінити їхню точність та обчислювальну складність. Оцінка точності здійснювалася за метриками Intersection over Union (1) та Dice Similarity Coefficient (2), які визначають рівень збігу сегментованих та еталонних областей:

$$\text{IoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, \quad (1)$$

$$\text{DSC} = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|}, \quad (2)$$

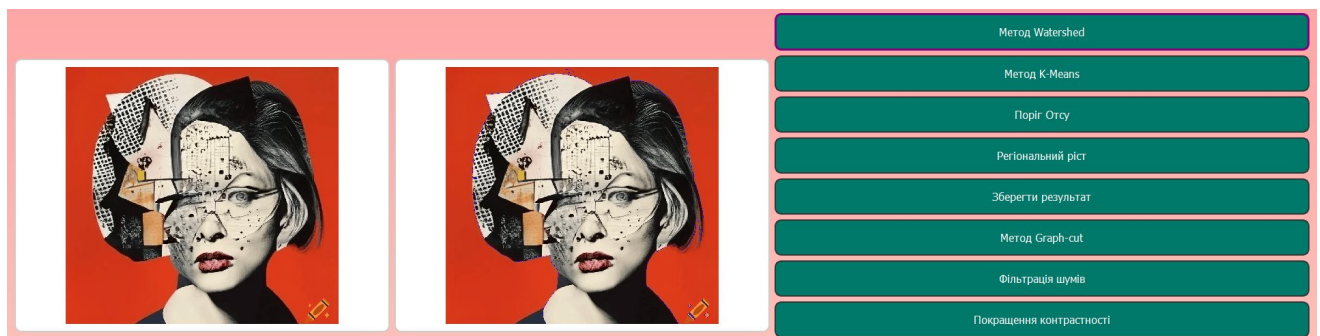
де A — прогнозована область, B — еталонна сегментація.

Результати оцінювання:

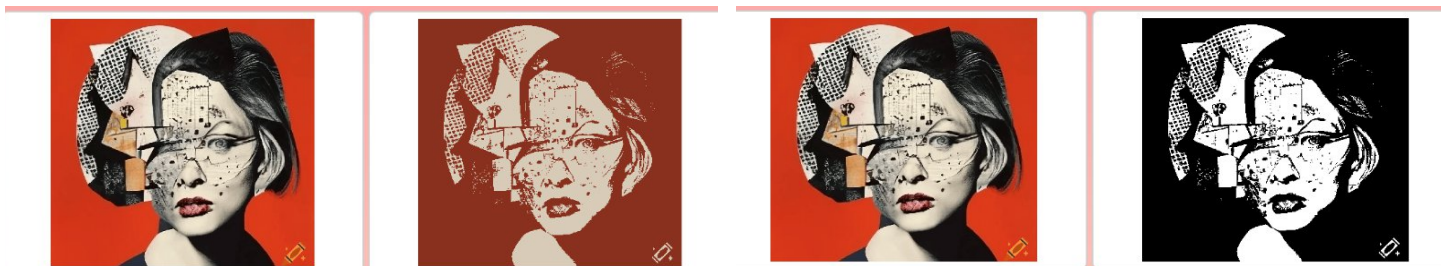
- Watershed: $\text{IoU} = 0.78$, $\text{DSC} = 0.87$ (ефективний для структур із чіткими границями).
- K-means: $\text{IoU} = 0.72$, $\text{DSC} = 0.83$ (підходить для кольорових зображень).
- Метод Отсу: $\text{IoU} = 0.65$, $\text{DSC} = 0.79$ (ефективний для двійкової сегментації).
- Graph-Cut: $\text{IoU} = 0.81$, $\text{DSC} = 0.89$ (висока точність за правильною ініціалізацією).
- Region Growing: $\text{IoU} = 0.69$, $\text{DSC} = 0.81$ (ефективний за малих градієнтів яскравості).

Аналіз отриманих значень підтвердив, що Graph-Cut забезпечує максимальну точність, тоді як Watershed є оптимальним для зображень із вираженими границями.

Оброблені фотографії, отримані за допомогою розробленої програми наведено на рисунку 2:



a)



b)

c)



d)

e)

Рисунок 2 – а) Метод Watershed; б) Метод K-means; в) Порог Отсу; д) Покращення контрастності; е) Метод Graph-cut

Висновки

Розроблено програмне забезпечення для порівняльного аналізу алгоритмів сегментації зображень, що включає оцінку ефективності за допомогою метрик Intersection over Union (IoU) та Dice Similarity Coefficient (DSC). Використання зазначених метрик дозволяє визначити точність і якість сегментації, що є критичним для багатьох наукових та технічних завдань, де потрібна висока точність поділу зображення на значущі області.

У рамках реалізації програмного забезпечення було застосовано кілька відомих методів сегментації, зокрема Watershed, який базується на топографічному аналізі зображення; K-means, що здійснює кластеризацію пікселів за подібністю; метод Отсу, що дозволяє автоматично визначити оптимальний поріг для бінаризації зображень; Graph-Cut, який реалізує енергетичну мінімізацію для оптимального поділу зображень; та Region Growing, що базується на інкрементальному розширенні сегментів. Це дозволяє забезпечити комплексний підхід до сегментації зображень з різними характеристиками.

Застосування мови програмування Python та бібліотек OpenCV і scikit-image забезпечує гнучкість і адаптивність алгоритмів до різних типів зображень, враховуючи такі фактори, як рівень шуму, контрастність та складність сцени. Ці інструменти дозволяють створити ефективну платформу для сегментації в умовах реального застосування, де якість зображень може змінюватися в залежності від джерела.

Автоматизація процесу сегментації є критично важливою для високоточних застосувань. Зокрема, в медичній діагностиці вона дозволяє підвищити точність виявлення патологій, таких як пухлини на МРТ-знімках, що суттєво покращує процес діагностики. У сфері супутникового моніторингу сегментація застосовується для аналізу екологічних змін, таких як виявлення вирубки лісів чи зон підтоплення, що дозволяє ефективно контролювати стан навколишнього середовища. Розроблена система оптимізує процес аналізу зображень та має широкий спектр наукових і прикладних застосувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електронне джерело «OpenCV: Бібліотека для комп'ютерного зору» URL: <https://opencv.org/>
2. Електронне джерело «Scikit-image: Інструменти для обробки зображень на Python» URL: <https://scikit-image.org/>
3. Електронне джерело «Методи сегментації зображень» URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Image_segmentation
4. О. Г. Іванов, М. В. Сидоренко, «Алгоритми сегментації зображень: теорія та практичне застосування», Київ: Вид-во Національного університету, 2022
5. Е. Н. Adelson, «Graph Cut for Image Segmentation», Journal of Computer Vision, 2007

Кривошей Іван Максимович – студент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ivankrivoshey2003@gmail.com

Софіна Ольга Юрївна – к.т.н., доцент кафедри АІТ, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olsofina@gmail.com

Kryvoshei Ivan Maksymovych - Student of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivankrivoshey2003@gmail.com

Olga Sofina – PhD, Associate Professor of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Computer Systems and Automatics Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olsofina@gmail.com