

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Царук Павло Романович

**Програмна бібліотека алгоритмів сегментації
цифрових зображень/Software library of digital image
segmentation algorithms**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Випускна кваліфікаційна робота

Виконав: студент групи KI-41
Царук Павло Романович

Науковий керівник
Батько Ю.М.

2025

АНОТАЦІЯ

Царук П.Р. Програмна бібліотека алгоритмів сегментації цифрових зображень. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», освітньо-професійна програма. Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

Робота написана обсягом 73 сторінки і містить 22 рисунки, 2 таблиці, 3 додатки та 25 джерел за переліком посилань. Обсяг графічного матеріалу 2 аркуші формату А3.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка структури та реалізації програмної бібліотеки алгоритмів обробки та сегментації кольорових цифрових зображень.

В кваліфікаційній роботі на основі аналізу існуючих алгоритмів обробки цифрових зображень та технологій проктування цифрових бібліотек розроблено структуру та програмно реалізовано алгоритми обробки цифрових зображень. Проведено тестові дослідження та моделювання архітектури програмного додатку, а також програмно реалізовано прикладний програмний додаток на мові програмування Java з використання власної цифрової бібліотеки, що підтвердило коректність обраної структури та запропонованого алгоритму.

Розроблений програмний продукт є ефективним засобом з простим інтерфейсом, що дозволяє вирішувати проблему обробки, аналізу та опису цифрових кольорових зображень.

Ключові слова: ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, СЕГМЕНТАЦІЯ, ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, ЦИФРОВА БІБЛІОТЕКА ФУНКЦІЙ.

ANNOTATION

Tsaruk P.R. Software library of algorithms for segmentation of digital images. – Manuscript.

Qualification work for obtaining the degree of Bachelor in specialty 123 “Computer Engineering”, educational and professional program. Western Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work is written in 73 pages and contains 22 figures, 2 tables, 3 appendices and 25 sources according to the list of references. The volume of graphic material is 2 sheets of A3 format.

The purpose of the qualification work is to develop the structure and implementation of a software library of algorithms for processing and segmentation of color digital images.

In the qualification work, based on the analysis of existing algorithms for processing digital images and technologies for designing digital libraries, a structure was developed and algorithms for processing digital images were implemented in software. Test studies and modeling of the software application architecture were conducted, and an application software application was implemented in the Java programming language using its own digital library, which confirmed the correctness of the selected structure and the proposed algorithm. The developed software product is an effective tool with a simple interface that allows solving the problem of processing, analyzing and describing digital color images.

Keywords: IMAGE PROCESSING, SEGMENTATION, IMAGE PRE-PROCESSING, DIGITAL FUNCTION LIBRARY.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Технології оцифровування та обробки цифрових зображень	12
1.1 Технології створення та кодування цифрових зображень	12
1.2 Обробка цифрових зображень	15
1.3 Аналіз бібліотек функцій обробки цифрових зображень	17
1.4 Висновки до розділу та постановка завдань кваліфікаційної роботи..	23
2 Алгоритми сегментації кольорових цифрових зображень	24
2.1 Алгоритми сегментації засновані на аналізі інтенсивності пікселів ...	24
2.2 Алгоритми сегментації на основі аналізу границь	27
2.3 Структура цифрової бібліотеки сегментації цифрових зображень.....	31
3 Бібліотека алгоритмів обробки цифрових зображень	34
3.1 Програмний додаток обробки цифрових зображень	34
3.2 Тестування бібліотеки алгоритмів обробки зображень	41
3.3 Порівняння з бібліотеками-аналогами	46
Висновки	48
Список використаних джерел	49
Додаток А Техніко– економічне обґрунтування розробки.....	52
Додаток Б Вихідний текст класу сегментації алгоритмом водоподілу	65
Додаток В Світлокопія виданої публікації	70

					КР.КІ.9702425.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розробив	Царук П.Р.				ПРОГРАМНА БІБЛІОТЕКА АЛГОРИТМІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.	Батько Ю.М.										8	73	
Консульт.	Савка Н.Я.								ЗУНУ,ФКІТ, КІ-41				
Н. Контр.	Дубчак Л.О.												
Затвердила	Дубчак Л.О.												

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЦКЗ	–	Цифрове кольорове зображення
DIP	–	Digital Image Processing
ROI	–	Region of Interesting
ШІ	–	Штучний інтелект
UGI	–	User Graphics Interface

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Актуальність роботи. У сучасному цифровому суспільстві обсяг візуальної інформації зростає експоненціально. Величезні масиви зображень та відео щоденно генеруються як у професійному середовищі, так і у повсякденному житті. У цьому контексті завдання автоматизованої інтерпретації візуальних даних стає надзвичайно актуальним. Одним із базових етапів такої інтерпретації є сегментація зображень – процес поділу цифрового зображення на однорідні за певними критеріями області. Цей процес формує основу для подальших етапів аналізу, таких як розпізнавання об'єктів, класифікація або 3D-реконструкція сцени.

Особливу актуальність ця проблема набуває в прикладних галузях. У медицині, наприклад, сегментація дозволяє виділяти анатомічні структури або патологічні області на медичних зображеннях, що критично важливо для точної діагностики, планування операцій та моніторингу лікування. Автоматизація цього процесу значно знижує навантаження на лікарів і підвищує об'єктивність оцінки. У галузі дистанційного зондування Землі сегментація застосовується для аналізу супутникових знімків з метою ідентифікації природних об'єктів, міських структур, змін у рослинному покриві тощо.

Водночас розвиток систем автономного керування, зокрема в автомобілях, потребує ефективної та реальної в часі сегментації об'єктів на зображеннях з камер. Безпека та функціональність таких систем значною мірою залежать від якості алгоритмів сегментації. Не менш важливою є сегментація у промисловості – для контролю якості продукції, виявлення дефектів, автоматизованої класифікації компонентів на виробничих лініях.

Попри велику кількість існуючих алгоритмів сегментації, проблема вибору найбільш придатного для конкретного застосування методу залишається складною. Різноманіття підходів – від класичних методів, таких як порогова обробка або методи кластеризації, до сучасних нейронних мереж та гібридних систем – створює потребу у систематизації знань. Розробка цифрової бібліотеки

алгоритмів сегментації здатна вирішити цю проблему, забезпечивши користувачів централізованим доступом до описів, класифікацій, прикладів реалізації та порівняльного аналізу різних підходів.

Ще одним важливим аспектом є необхідність підвищення рівня відтворюваності наукових досліджень. Забезпечення відкритого доступу до параметрів, вхідних даних та результатів алгоритмів сегментації сприятиме стандартизації підходів у різних дослідницьких групах. Цифрова бібліотека може також стати платформою для обміну знаннями, експериментальними результатами та новими розробками, стимулюючи розвиток нових методів і практик. Отже, актуальною задачею є розроблення розробка структури та реалізації програмної бібліотеки алгоритмів обробки та сегментації зображень.

Об'єкт дослідження – алгоритми обробки та сегментації цифрових кольорових зображень. Предмет дослідження – цифрова бібліотека алгоритмів обробки цифрових зображень. Метою кваліфікаційної роботи є розробка структури та реалізації програмної бібліотеки алгоритмів обробки та сегментації кольорових цифрових зображень.

Для досягнення мети такі завдання:

- провести аналіз та класифікацію основних типів цифрових зображень;
- проаналізувати алгоритми обробки цифрових зображень;
- провести дослідження програмних додатків обробки цифрових зображень;
- класифікувати алгоритми сегментації цифрових зображень;
- спроектувати структуру програмної бібліотеки алгоритмів сегментації цифрових зображень;
- програмно реалізувати алгоритми сегментації цифрових зображень для цифрової бібліотеки.

За результатами роботи опубліковано тези доповіді на II Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» [1]. Копію публікації наведено у додатку В.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1 ТЕХНОЛОГІЇ ОЦИФРОВУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Технології створення та кодування цифрових зображень

Цифрове зображення – це числове представлення двовимірної сцени у вигляді матриці, де кожна клітинка – це піксель. Кожен піксель містить інформацію про яскравість або колір у певній точці зображення. Таким чином, цифрове зображення – це дискретна функція $f(x,y)$, де x і y – координати пікселя, а f його інтенсивність.

Найпростішим типом цифрового зображення є бінарне зображення, яке містить лише два можливих значення – зазвичай «0» (чорний) та «1» (білий). Такий формат широко застосовується в задачах розпізнавання контурів або фонові фільтрації. Зображення в градаціях сірого зазвичай мають 256 рівнів яскравості, представлених 8-бітним числом. Кожне значення від 0 до 255 відображає рівень яскравості – від повної темряви до максимальної яскравості. Кольорові зображення зазвичай використовують модель RGB (Red, Green, Blue), де кожен піксель описується трьома компонентами: інтенсивністю червоного, зеленого та синього. Комбінації цих компонентів дозволяють відтворити мільйони відтінків. Зміни сприйняття зображення відносно обраного типу відображення наведено на рисунку 1.1



а) Кольорове



б) Градіції сірого



в) чорно-біле

Рисунок 1.1 – Приклади зміни зображення від обраного типу

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Процес формування цифрового зображення починається зі сприйняття світлового сигналу. Для цього використовуються електронно-оптичні сенсори, що перетворюють світло на електричний струм. Найпоширенішими типами сенсорів є CCD (Charge-Coupled Device) і CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor).

CCD-матриці забезпечують високу якість зображення з низьким рівнем шуму. Вони широко використовуються у професійній фотографії, медичних сканерах і телескопах. CMOS-сенсори є менш енерговитратними та дешевшими у виробництві, тому стали стандартом для смартфонів, веб-камер і побутових пристроїв. У сучасних CMOS-сенсорах інтегруються елементи попередньої обробки (наприклад, підсилення, оцифрування) безпосередньо на кристалі, що знижує затримку та вартість.

Після отримання аналогового сигналу його потрібно оцифрувати, тобто перетворити в цифрову форму. Це завдання виконує аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Він вимірює рівень напруги, пропорційний яскравості пікселя, і присвоює йому числове значення. Глибина кольору (bit depth) визначає кількість доступних рівнів яскравості або кольору, які може представити система. Типові значення – 8, 12 або 16 бітів на канал. Далі зображення проходить попередню обробку, яка включає зменшення шумів, корекцію кольору, баланс білого, компенсацію викривлень тощо. Важливим етапом є демозаїкація – процес реконструкції кольорового зображення з даних, отриманих від сенсора, де кожен піксель реєструє лише один колір. Крім звичних камер, існують інші технології отримання зображень: інфрачервоні та теплові камери, радарна зйомка, ультразвукові сенсори, а також методи дистанційного зондування. Кожна з цих технологій має свої фізичні обмеження, переваги та типові області застосування. Вибір методу залежить від необхідної роздільної здатності, спектрального діапазону, швидкості, вартості обладнання та умов зйомки.

Цифрові зображення класифікуються за низкою параметрів, які визначають їхню природу, спосіб отримання, призначення та методи подальшої обробки (рисунок 1.2).

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

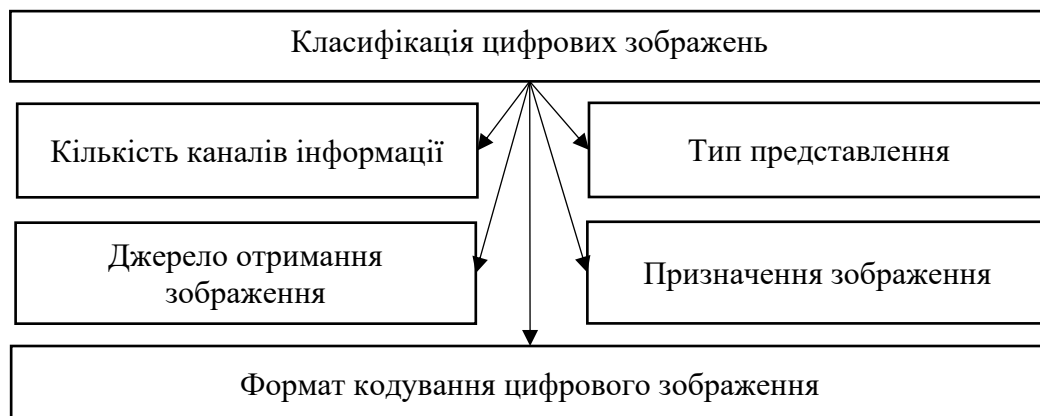


Рисунок 1.2 – Класифікація цифрових зображень

Одним із основних критеріїв є кількість каналів інформації. У цьому контексті зображення можуть бути одноканальними (градації сірого) або багатоканальними (кольорові, гіперспектральні). Градаційні зображення є зручними для структурного аналізу, а кольорові – необхідні для задач, що залежать від спектральної інформації.

Іншим важливим параметром є тип представлення: растрові або векторні. Растрові зображення формуються як сітка пікселів і домінують у сфері фотографії, телеметрії, дистанційного зондування. Натомість векторні зображення описуються геометричними примітивами (лінії, криві, багатокутники) і використовуються у CAD-системах, графічному дизайні, картографії.

Джерело отримання зображення також є критерієм класифікації. Наприклад, медичні зображення формуються шляхом проходження енергії через тканини (рентген, КТ, МРТ), а супутникові знімки збирають електромагнітне випромінювання у різних спектральних діапазонах із орбітальних платформ. Крім того, існують зображення, отримані за допомогою тепловізорів, акустичних сенсорів, лазерного сканування та інших спеціалізованих пристроїв.

Ще одним критичним аспектом класифікації є призначення зображення. Залежно від цього, воно може бути технічним (наприклад, рентгенограма), художнім (фотографія, живопис, ілюстрація), науковим (мікроскопія, астрофотографія), побутовим або прикладним (розпізнавання облич, біометрія).

Роздільна здатність зображення визначається кількістю пікселів по горизонталі та вертикалі. Вона напряму впливає на обсяг інформації та можливість деталізації. Наприклад, зображення 1920×1080 має понад два мільйони пікселів. Важливо також враховувати формат зображення (JPEG, PNG, BMP, TIFF тощо), оскільки різні формати по-різному кодують та стискають піксельну інформацію, що впливає як на якість, так і на розмір файлу.

1.2 Обробка цифрових зображень

У сучасному цифровому світі зображення відіграють одну з ключових ролей в обміні інформацією, автоматизованій інтерпретації сцен, візуальній аналітиці та моделюванні. Розуміння структури та обробки зображень є необхідним етапом у розвитку систем штучного інтелекту, комп'ютерного зору, машинного навчання, візуального моніторингу, цифрової медицини й низки прикладних галузей. Задачі роботи з цифровими зображеннями можна розділити на три основні групи: обробка, аналіз і синтез цифрових зображень (рисунк 1.3).

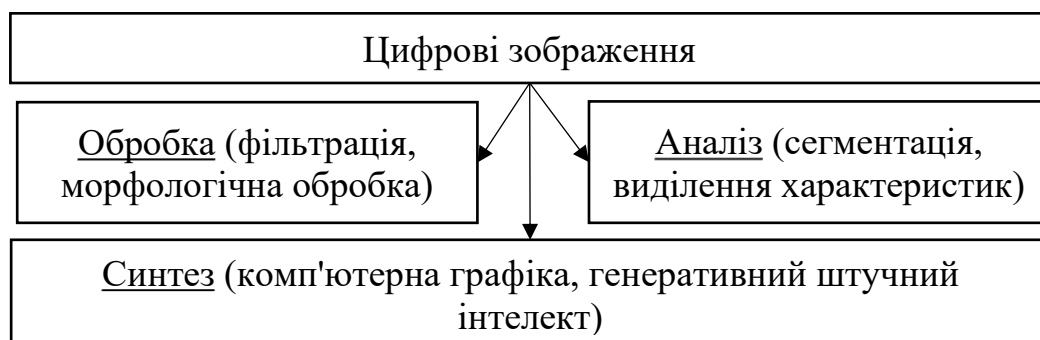


Рисунок 1.3 – Класифікація завдань роботи з цифровими зображеннями

Обробка цифрових зображень передбачає застосування алгоритмічних дій до зображення з метою покращення його якості або підготовки до подальшого використання. Цей процес не змінює смислового наповнення зображення, але дозволяє зменшити вплив артефактів, покращити візуальну читабельність,

адаптувати зображення під вимоги подальшого аналізу або виводу. В основі обробки лежать математичні перетворення, які діють на матрицю пікселів. Зображення може бути покращене шляхом фільтрації, яка дозволяє зменшити рівень шуму або підкреслити важливі деталі. Наприклад, згладжування на основі гаусового ядра дає змогу зменшити випадкові спотворення, не знижуючи суттєво чіткості зображення.

Аналіз цифрових зображень переходить на інший рівень – він спрямований на витяг смислової інформації, закладеної в зображенні. Це може включати виявлення об'єктів, їх класифікацію, ідентифікацію, підрахунок або вимірювання певних властивостей. Аналіз вимагає не лише перетворення піксельної інформації, а й розуміння просторових, статистичних та семантичних зв'язків між елементами зображення. Аналіз цифрових зображень застосовується в діагностичній медицині, криміналістиці, системах контролю якості, розпізнаванні облич і навіть у сільському господарстві. Технології аналізу є основою для розумних систем прийняття рішень, які функціонують без участі людини або у співпраці з нею.

Синтез зображень є концептуально протилежним до аналізу, оскільки не витягає інформацію із зображення, а створює її. Він полягає у генерації нових візуальних образів на основі заданих параметрів, статистичних моделей, описів чи інших зображень. Це процес побудови нового зображення, яке або повністю штучне, або є відтворенням, реконструкцією чи симуляцією візуального простору. Синтез є критично важливим для створення віртуальних світів, моделювання біомедичних процесів, покращення якості старих або пошкоджених зображень, а також для задач віртуальної та доповненої реальності. У деяких випадках синтез є єдиним способом візуалізувати об'єкти, які фізично ще не існують або не піддаються прямому спостереженню.

У реальних застосуваннях ці три процеси часто взаємодіють між собою. Наприклад, синтез зображення може базуватись на результатах попереднього аналізу, тоді як сам аналіз може вимагати попередньої обробки даних. У складних системах ці процеси реалізуються послідовно або паралельно, забезпечуючи високу надійність та точність функціонування.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.3 Аналіз бібліотек функцій обробки цифрових зображень

Реалізація алгоритмів комп'ютерного зору вимагає вибору відповідних інструментів, що забезпечують гнучкість, ефективність та інтеграцію з графічним або серверним середовищем. Для отримання цілісної інформації про структуру та функціональні можливості сучасних цифрових бібліотек алгоритмів обробки цифрових зображень було проведено дослідження ряду відомих розробок (рисунок 1.4).

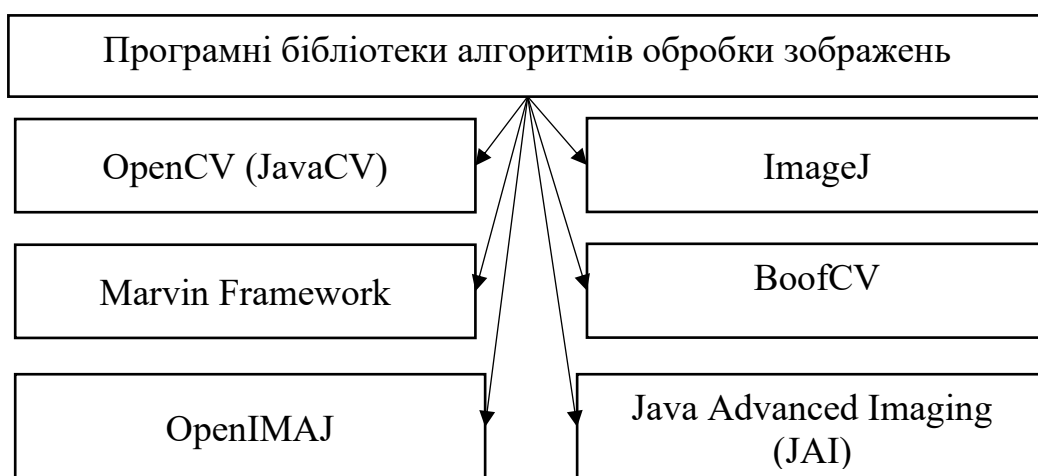


Рисунок 1.4 – Цифрові бібліотеки алгоритмів обробки зображень

OpenCV – є однією з найпотужніших та найпоширеніших бібліотек для обробки зображень та відео. Вона підтримує широкий спектр алгоритмів, зокрема Watershed. У Java вона доступна у двох основних варіантах. Ця бібліотека надає широкий спектр функцій для обробки зображень, зокрема для їх сегментації, що є критично важливою задачею в комп'ютерному зорі.

OpenCV пропонує різноманітні алгоритми та інструменти для сегментації зображень, які дозволяють виділяти об'єкти або області інтересу на зображенні. Серед основних методів сегментації, реалізованих у бібліотеці, варто відзначити:

Алгоритм GrabCut. Цей метод базується на моделі Гауссових сумішей та енергетичній мінімізації. Він дозволяє інтерактивно виділяти передній план зображення, використовуючи прямокутну область або маску. GrabCut ефективно

справляється з задачами, де необхідно відокремити об'єкт від фону, навіть у складних умовах освітлення чи текстури.

Алгоритм Watershed. Цей метод розглядає зображення як топографічну карту, де яскравість пікселів відповідає висоті. Алгоритм використовує маркери для визначення областей, які потрібно сегментувати, і поступово "затоплює" зображення, розділяючи його на різні сегменти. Watershed особливо корисний для розділення злиплених об'єктів або для точного виділення меж між об'єктами.

Графова сегментація. OpenCV також підтримує методи сегментації на основі графів, де зображення представляється у вигляді графа, а сегментація досягається шляхом мінімізації вартості розрізу графа. Ці методи дозволяють ефективно обробляти зображення з великою кількістю об'єктів або складною структурою.

Селективний пошук (Selective Search). Цей підхід комбінує ієрархічну сегментацію та стратегії об'єднання регіонів для генерації пропозицій об'єктів. Він широко використовується в задачах виявлення об'єктів, де необхідно швидко та ефективно знайти потенційні області, що містять об'єкти.

OpenCV знаходить широке застосування в різних галузях, де необхідна обробка та аналіз зображень. Дві основні сфери, де бібліотека демонструє свою ефективність у задачах сегментації, включають:

— У медицині точна сегментація зображень є критично важливою для діагностики, планування лікування та моніторингу стану пацієнтів. OpenCV використовується для обробки медичних зображень, таких як МРТ, КТ та УЗД, дозволяючи виділяти органи, тканини або патологічні утворення.

— У сфері автономного транспорту сегментація зображень є ключовою для розпізнавання дорожньої обстановки, виявлення перешкод та прийняття рішень у реальному часі. OpenCV дозволяє обробляти зображення з камер транспортного засобу, виділяючи дорожні знаки, пішоходів, інші транспортні засоби та інші об'єкти. Алгоритм Watershed, наприклад, може бути використаний для точного розділення об'єктів, що перекриваються, таких як автомобілі на багатосмуговій дорозі.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

OpenCV є відкритою бібліотекою з відкритим вихідним кодом, що розповсюджується під ліцензією Apache 2.0. Це означає, що бібліотека є безкоштовною для використання як у академічних, так і в комерційних проектах без необхідності сплати ліцензійних зборів.

ImageJ – це потужна платформа для наукової обробки зображень, створена мовою Java. Це програмне забезпечення з відкритим кодом, розроблене на мові Java, яке надає широкий спектр функцій для обробки, аналізу та візуалізації зображень. ImageJ пропонує різноманітні алгоритми та інструменти для сегментації зображень, які дозволяють виділяти об'єкти або області інтересу на зображенні. Окрім того, в бібліотеці знаходяться індивідуальні типи даних для опису та документування результатів обробки цифрових зображень засобами запропонованими розробниками. Серед основних методів сегментації, реалізованих у бібліотеці, варто відзначити:

Порогова сегментація. Цей метод дозволяє розділити зображення на області на основі інтенсивності пікселів. Користувач може встановити порогове значення, вище або нижче якого пікселі будуть віднесені до певного сегменту.

Використання морфологічних операцій. ImageJ підтримує морфологічні операції, такі як ерозія, дилатація, відкриття та закриття, які допомагають покращити результати сегментації, видаляючи шум або заповнюючи прогалини в об'єктах.

Алгоритм Watershed. Цей метод розглядає зображення як топографічну карту, де яскравість пікселів відповідає висоті. Алгоритм використовує маркери для визначення областей, які потрібно сегментувати, і поступово "затоплює" зображення, розділяючи його на різні сегменти.

Плагін Trainable Weka Segmentation. Цей плагін об'єднує алгоритми машинного навчання з набором вибраних ознак зображення для створення сегментацій на основі пікселів. Він дозволяє користувачам навчати моделі для специфічних задач сегментації, використовуючи інтерфейс Weka.

ImageJ знаходить широке застосування в різних галузях, де необхідна обробка та аналіз зображень:

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

— У медицині точна сегментація зображень є критично важливою для діагностики, планування лікування та моніторингу стану пацієнтів. Наприклад, плагін Simple Muscle Architecture Analysis (SMA) автоматизує вимірювання в ультразвукових зображеннях м'язів, що сприяє точнішій діагностиці та плануванню хірургічних втручань.

— У біології ImageJ широко використовується для аналізу мікроскопічних зображень клітин, тканин та організмів. Сегментація дозволяє дослідникам виділяти окремі клітини, підраховувати їх кількість, вимірювати розміри та форму, а також аналізувати взаємодії між клітинами.

ImageJ є безкоштовним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, що розповсюджується під ліцензією публічного надбання (public domain) або BSD-2, залежно від версії.

BoofCV – відкрита Java-бібліотека, розроблена для реального часу та високопродуктивних застосувань у сфері комп'ютерного зору. Вона надає широкий спектр інструментів для обробки зображень, включаючи сегментацію, що є ключовим етапом у багатьох задачах аналізу зображень. BoofCV пропонує різноманітні алгоритми та методи для сегментації зображень, які дозволяють ефективно розділяти зображення на значущі області або об'єкти. Серед основних методів сегментації, реалізованих у бібліотеці, варто відзначити:

Порогова сегментація. Цей метод дозволяє розділити зображення на області на основі інтенсивності пікселів. BoofCV підтримує як глобальне, так і адаптивне (локальне) порогування, що дозволяє враховувати неоднорідне освітлення на зображенні.

Сегментація за кольором. Бібліотека дозволяє сегментувати зображення на основі кольорової інформації, перетворюючи зображення в колірні простори, такі як HSV, для підвищення стійкості до змін освітлення. Це дозволяє виділяти об'єкти певного кольору на зображенні. BoofCV реалізує алгоритми сегментації на основі суперпікселів, які об'єднують пікселі в зв'язані кластери, що зменшує складність подальшої обробки зображення. Ці методи дозволяють ефективно виділяти області з подібними характеристиками.

BoofCV знаходить широке застосування в різних галузях, де необхідна обробка та аналіз зображень. У робототехніці BoofCV використовується для обробки зображень у реальному часі, що дозволяє роботам орієнтуватися в просторі, виявляти та розпізнавати об'єкти, а також здійснювати навігацію. Сегментація зображень є ключовим етапом у цих процесах, забезпечуючи виділення об'єктів від фону та інших елементів сцени.

BoofCV є безкоштовною бібліотекою з відкритим вихідним кодом, що розповсюджується під ліцензією Apache 2.0. Це означає, що вона може бути вільно використана як у академічних, так і в комерційних проектах без необхідності сплати ліцензійних зборів.

Marvin Framework – ще одна бібліотека на Java, яка дозволяє проводити базову обробку зображень. Має зручну систему плагінів і власний формат представлення зображень.

OpenIMAJ – це універсальна бібліотека з відкритим кодом для аналізу мультимедійних даних, розроблена на мові Java. Вона підтримує обробку зображень, відео, аудіо та тексту, що робить її особливо цінною для міждисциплінарних досліджень у сфері машинного навчання та комп'ютерного зору. Бібліотека включає засоби для виявлення об'єктів, класифікації, аналізу ознак та роботи з векторами ознак. OpenIMAJ інтегрується з іншими Java-фреймворками, має підтримку камер у реальному часі, відеопотоків та низку інструментів для візуалізації. Її використовують переважно в академічних і дослідницьких проектах.

Java Advanced Imaging (JAI) – це набір API від Oracle для високопродуктивної обробки зображень у середовищі Java. Бібліотека була розроблена для підтримки складних графічних операцій, таких як фільтрація, масштабування, геометричні трансформації, а також читання й запис зображень у різних форматах (TIFF, BMP, JPEG2000). Основна перевага JAI – можливість створювати потужні графічні застосунки з мінімальним використанням нативного коду. Попри свою стабільність, JAI вважається застарілою бібліотекою й не підтримується активно останні роки.

В результаті проведеного дослідження бібліотек алгоритмів обробки цифрових зображень було виділено переваги та недоліки кожної з них. Виділено ряд алгоритмів, що реалізовані у всіх з них. Окрім того, розглянуто набір структур даних які використовуються для тимчасового зберігання даних в процесі обробки зображень. Виділені результати необхідні для проектування структури бібліотеки. Результати аналізу були згруповані та наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння бібліотек обробки цифрових зображень

Бібліотека	Переваги	Недоліки
OpenCV (та її адаптація JavaCV)	– безкоштовна та з відкритим кодом; – широкий набір функцій; – мультиплатформеність та підтримка мов програмування	– відсутність автоматичної оптимізації під задачі; – обмежена підтримка сучасних глибоких нейронних мереж; – висока залежність від ручного налаштування
ImageJ	– відкритість і безкоштовність – розширюваність через плагіни – широке застосування в біо– та медичних науках	– обмежена підтримка сучасних ai– алгоритмів – застарілий інтерфейс користувача – проблеми з обробкою великих даних
BoofCV	– оптимізована для java та реального часу; – гнучка та легка в інтеграції.	– обмежена підтримка глибокого навчання; – менша спільнота розробників
Marvin Framework	– Легкість використання та простий API; – Модульність та підтримка плагінів	– Обмежена продуктивність для складних обчислень; – Мала спільнота та повільна підтримка
OpenIMAJ	– Універсальність і глибока інтеграція мультимедіа; – Підтримка машинного навчання.	– Високий поріг входження для новачків; – Низька активність проекту
Java Advanced Imaging (JAI)	– Стабільність та перевірений часом API; – Підтримка низькорівневої обробки та розширених форматів	– Застарілість та відсутність активної підтримки; – Обмежена документація та інтеграція з сучасними фреймворками

1.4 Висновки до розділу та постановка завдань кваліфікаційної роботи

В першому розділі кваліфікаційної роботи наведено результати проведеного дослідження та класифікації форматів цифрових зображень, здійснено аналіз алгоритмів обробки цифрових зображень, що дозволило виділити три основні групи алгоритмів. Було здійснено аналітичне дослідження бібліотек алгоритмів обробки цифрових зображень з метою визначення типових структур та наборів алгоритмів які є обов'язковими для включення в відомі рішення. Для реалізації технічного завдання поставленого в кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) провести аналіз та класифікацію основних типів цифрових зображень;
- 2) проаналізувати алгоритми обробки цифрових зображень;
- 3) провести дослідження програмних додатків обробки цифрових зображень;
- 4) класифікувати алгоритми сегментації цифрових зображень;
- 5) спроектувати структуру програмної бібліотеки алгоритмів сегментації цифрових зображень;
- 6) програмно реалізувати алгоритми сегментації цифрових зображень для цифрової бібліотеки.

2 АЛГОРИТМИ СЕГМЕНТАЦІЇ КОЛЬОРОВИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1 Алгоритми сегментації засновані на аналізі інтенсивності пікселів

Алгоритми, засновані на інтенсивності пікселів, здійснюють сегментацію зображення шляхом поділу його на області, що мають схожі характеристики яскравості або кольору. Основна ідея полягає в тому, що об'єкти, які мають схожі візуальні властивості, мають подібні значення інтенсивності пікселів. Такі алгоритми намагаються знайти однорідні зони в зображенні, де всі пікселі відповідають певному діапазону значень.

Алгоритми цієї групи мають сильну залежність від гомогенності області. Якщо зображення містить багато шуму або має сильні варіації освітлення, такі методи можуть давати нестабільні результати. Проте вони є ефективними для простих сцен, де об'єкти мають контраст із фоном або між собою. Ці методи не враховують геометричні властивості об'єктів або просторовий контекст, якщо не комбінуються з іншими підходами. Перелік алгоритмів які представляють дану групу наведено на рисунку 2.1.

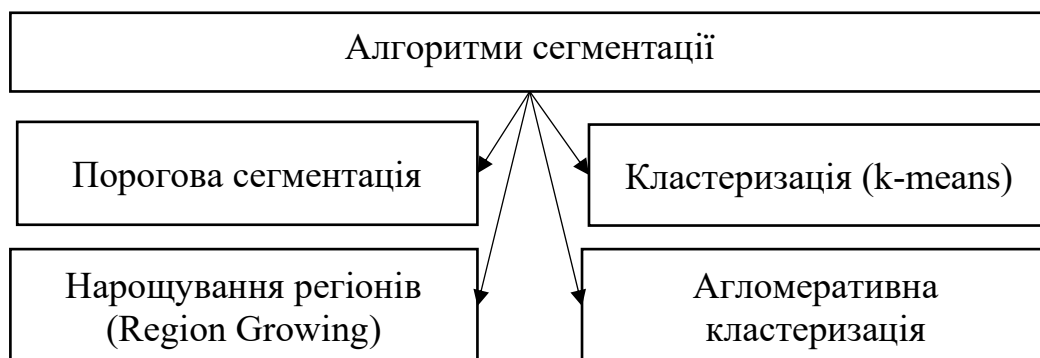


Рисунок 2.1 – Алгоритми сегментації основані на аналізі інтенсивності пікселів

Порогова сегментація – один із найпростіших та найпоширеніших методів. Вона розділяє зображення на дві або більше зон, ґрунтуючись на значеннях інтенсивності. Наприклад, бінаризація виконується за допомогою одного порогу: пікселі з інтенсивністю вище порогу відносяться до одного класу, а нижче – до

іншого. Можна використовувати фіксовані пороги або автоматичні, як-от метод Отсу.

Кластеризація (k-means) – метод розподіляє пікселі зображення на k кластерів відповідно до їх кольору або яскравості. Алгоритм мінімізує варіацію всередині кожного кластеру, і дозволяє знаходити більш складні структури, ніж порогова сегментація.

Region Growing – ітеративний алгоритм, який розпочинається з вибраного «насінного» пікселя та додає до регіону всі сусідні пікселі, які мають подібні характеристики. Метод добре працює, коли потрібно сегментувати компактні об'єкти з чіткими межами.

Mean Shift та агломеративна кластеризація – використовують статистичні властивості піксельного розподілу. Вони дозволяють виділити області, що не мають фіксованого центру чи регулярної структури, шляхом виявлення локальних максимумів розподілу щільності.

Для прикладу розглянемо алгоритм k-means. Алгоритм k-means – один із найпопулярніших методів кластеризації, який широко застосовується для сегментації зображень на основі інтенсивності або кольору пікселів. Нижче подано покроковий опис алгоритму k-means у контексті обробки зображень:

Крок 1. Визначення кількості кластерів k. Користувач задає заздалегідь кількість кластерів k, тобто кількість сегментів, на які має бути розділене зображення. Наприклад, для поділу на фон і об'єкт – $k=2$.

Крок 2. Ініціалізація центрів кластерів. Випадково вибираються k початкових центрів кластерів (центроїдів). У контексті зображень це можуть бути випадкові пікселі або вектори кольору (наприклад, в просторі RGB або Lab).

Крок 3. Призначення кожного пікселя до найближчого центру. Для кожного пікселя зображення обчислюється відстань (зазвичай, евклідова) до кожного з k центрів. Піксель приписується до кластера з найменшою відстанню.

Крок 4. Оновлення центрів кластерів. Для кожного кластера обчислюється новий центр як середнє значення всіх пікселів, що належать до цього кластера. Це новий центроїд – геометричний центр сегменту.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Крок 5. Перевірка зупинки алгоритму. Перевіряється, чи змінились центри кластерів порівняно з попередньою ітерацією. Якщо зміни мізерні або їх зовсім немає – алгоритм завершується. Інакше повертаємося до кроку 3.

Крок 6. Формування сегментованого зображення. Кожному пікселю присвоюється нове значення кольору або інтенсивності, що відповідає центру його кластера. Таким чином, зображення складається з k сегментів, де кожен має однорідні характеристики.

K-means працює з одноканальними (градації сірого) або багатоканальними (кольоровими) зображеннями. Він корисний для поділу зображення на частини з подібним кольором або текстурою та часто використовується для попередньої обробки перед складнішими алгоритмами.

Для більшої зручності аналізу послідовності кроків алгоритм K-середніх можна представити наступним чином (рисунок 2.2).

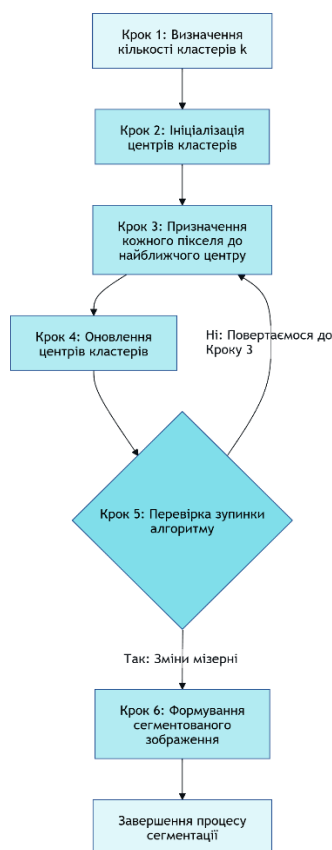


Рисунок 2.2 – Алгоритм кластеризації K-means

Інтенсивнісні алгоритми широко застосовуються в задачах з низькою складністю структури сцени. У медицині їх використовують для бінаризації МРТ

або УЗД-зображень, наприклад, при виявленні пухлин або кровотеч. У системах контролю якості вони допомагають виявляти дефекти на поверхні матеріалів. У супутниковій зйомці дозволяють виділяти зони води, лісу, міської забудови на основі спектральних каналів. Також активно використовуються в OCR-системах для виділення тексту, у споживчих камерах для автокорекції знімків.

До основних переваг таких алгоритмів належать простота реалізації, швидкодія та ефективність у задачах із обмеженою кількістю класів або високим контрастом. Вони не потребують великих обчислювальних ресурсів, тому добре підходять для вбудованих систем і мобільних пристроїв.

Головним недоліком є обмежена адаптивність. Зміни освітлення, наявність шумів, тіней або слабкого контрасту можуть значно погіршити якість сегментації. Також ці алгоритми не враховують текстуру, форму або просторову зв'язаність об'єктів, що обмежує їх у задачах із високим рівнем складності.

2.2 Алгоритми сегментації на основі аналізу границь

Алгоритми, які базуються на виявленні меж (границь) у зображеннях є одним із найважливіших напрямів в комп'ютерному зорі. Їхня мета полягає у виявленні переходів між різними об'єктами або регіонами шляхом аналізу змін інтенсивності або кольору пікселів. Ці методи виходять із припущення, що границі об'єктів відповідають значним локальним градієнтам або розривам у структурі зображення. Виявлення меж дозволяє виділити контури, які часто співпадають із реальними фізичними об'єктами.

Алгоритми цієї групи орієнтовані не на вміст регіонів, а на перехід між ними. Це дає змогу виявляти структуру об'єктів навіть тоді, коли їхні текстури, колір або яскравість змінюються нерівномірно. Проте точність виявлення границь залежить від якості зображення, наявності шуму, ступеня контрасту та деталей сцени. Головною перевагою є можливість адаптації до форми об'єкта. Наприклад, алгоритм може знайти тонкі об'єкти, складні контури або замкнуті

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

криві, що часто неможливо при кластеризації або порогованні. Водночас неправильна фільтрація або низька контрастність можуть призвести до фрагментації меж або появи хибних спрацьовувань.

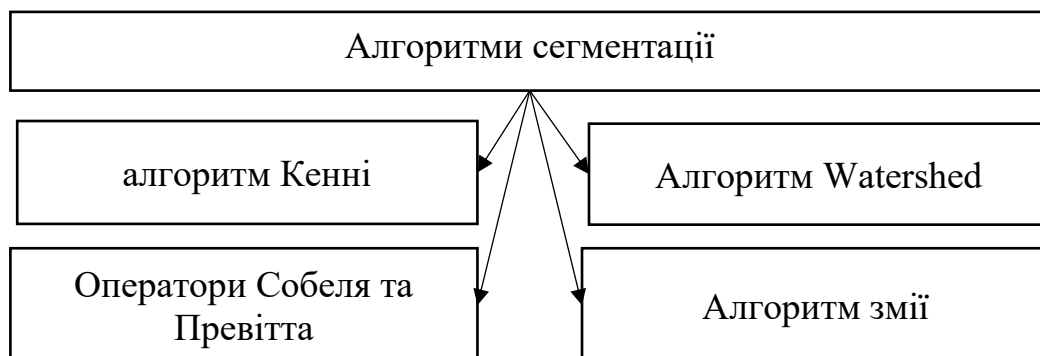


Рисунок 2.3 – Алгоритми сегментації на основі виділення меж областей

Одним із найбільш класичних та ефективних є алгоритм Кенні (Canny Edge Detector), який виконує попередню гаусову фільтрацію для пригнічення шуму, обчислює градієнти інтенсивності, а потім виконує не-максимальне придушення та подвійне пороговання для виділення релевантних меж. Цей підхід забезпечує високу точність і стабільність результатів.

Оператори Собеля та Превітта використовують маски для виявлення градієнтів у горизонтальному та вертикальному напрямках. Вони є швидкими у виконанні й часто використовуються для попередньої обробки або підрахунку градієнтних карт.

Алгоритм Watershed представляє зображення як топографічну поверхню, де яскравість пікселів відповідає висоті. Вода, що «заливає» зображення з різних початкових точок, утворює області, які зупиняються при зіткненні – ці межі й вважаються сегментами. Метод особливо добре підходить для розділення злиплених об'єктів (наприклад, клітин у мікроскопії), хоча потребує попередньої підготовки (наприклад, маркування областей).

Більш складні алгоритми, такі як активні контури (Snakes), формують задачу сегментації як мінімізацію енергетичної функції, яка поєднує внутрішню гладкість контуру з його приляганням до реальних меж. Контур деформується, щоб «облягати» об'єкт, і таким чином може точно повторювати складні форми.

Крок 1. Ініціалізація. Зчитується вхідне зображення I . Зображення може бути кольоровим або у відтінках сірого. Для подальших обчислень, за потреби, I перетворюється в градаційне зображення яскравості G .

Крок 2. Формування топографічної карти. На основі G створюється нове представлення H , де інтенсивність пікселів інтерпретується як висота на умовному рельєфі. Переходимо до наступного етапу з H як цифровим рельєфом.

Крок 3. Побудова маркерів. Визначаються або автоматично генеруються області-маркери:

- M_{fg} для об'єктів (foreground);
- M_{bg} для фону (background).

Створюється маркерне зображення M , де кожному регіону присвоюється унікальна мітка.

Крок 4. Запуск затоплення. На рельєф H запускається ітеративне «затоплення» з кожного маркерного регіону $M_i \in M$, починаючи з мінімальних значень у H . У кожному кроці рівень «води» збільшується на задану дельту δh , охоплюючи нові пікселі.

Крок 5. Призначення регіонів і виявлення меж. Кожен піксель, до якого доходить затоплення з маркера M_i , отримує відповідну мітку L_i . Якщо піксель одночасно претендує на включення до кількох M_i , він позначається як межовий: $L(x,y)=\text{WATERSHED}$.

Крок 6. Побудова сегментованого зображення. Отримане зображення міток L містить унікальні регіони з позначеними межами. Вихідне сегментоване зображення S формується шляхом накладання L на I або G , відповідно до контексту.

Крок 7. Завершення алгоритму. Сформоване зображення S виводиться як результат Watershed-сегментації. Можливе подальше використання для класифікації, вимірювання або візуалізації.

Для більш детального аналізу кроків даного алгоритму було створено його графічне представлення з яким можа ознайомитись на рисунку 2.4

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

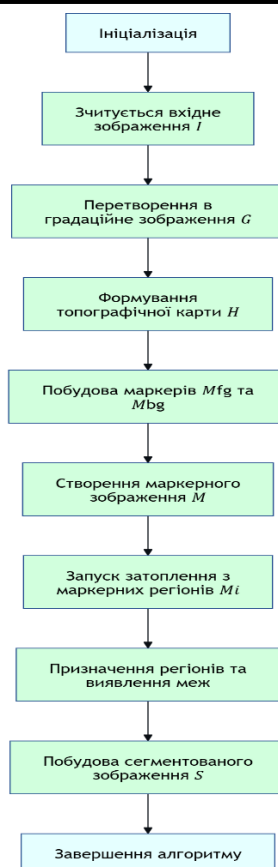


Рисунок 2.4 – Алгоритм сегментації водоподілом

Алгоритми на основі аналізу границь є стандартом у таких галузях, як медична візуалізація, для точного виділення структур органів, пухлин, кровоносних судин, де розмір і форма мають вирішальне значення. У промисловій автоматизації ці методи використовуються для детекції виробничих дефектів, контролю геометричних характеристик об'єктів, сегментації компонентів у машинному зорі. В робототехніці алгоритми границь дозволяють ідентифікувати контури предметів для захоплення маніпулятором або уникнення перешкод. У відеоспостереженні – для виявлення силуетів людей, автомобілів, розділення рухомих об'єктів на фоні. Також активно застосовуються в геоінформаційних системах, де допомагають відокремити річки, дороги, поля за супутниковими знімками.

Основна перевага алгоритмів на основі границь - це висока точність у визначенні форми об'єкта. Вони здатні працювати з об'єктами складної геометрії, незалежно від їх внутрішньої структури, забезпечуючи візуально

інтерпретовані та аналітично релевантні контури. Завдяки градієнтному підходу, такі методи є чутливими до змін і можуть виявити навіть тонкі деталі.

Проте дані алгоритми мають і вагомі обмеження. Вони чутливі до шумів і потребують попередньої обробки, інакше результат буде або занадто фрагментованим, або надмірно загальненим. Крім того, у зображеннях зі слабкими або частково прихованими межами контури можуть бути втрачені. Більшість таких методів є обчислювально затратними, що обмежує їх використання в реальному часі без апаратного прискорення.

2.3 Структура цифрової бібліотеки сегментації цифрових зображень

Цифрова бібліотека для обробки зображень має бути побудована як ієрархічна, структурована система з чітко визначеною модульною організацією, де кожен функціональний блок виконує окрему роль у загальному технологічному процесі обробки візуальних даних. Така архітектура не лише забезпечує масштабованість і гнучкість системи, але й сприяє повторному використанню коду, сумісності з зовнішніми інтерфейсами та ефективності розробки.

Базовим рівнем функціональної організації виступає підсистема попередньої обробки зображень. Її присутність обумовлена потребою у нормалізації вхідних даних перед подальшими етапами аналізу. У процесі фільтрації та морфологічної трансформації вхідні зображення звільняються від шумів, артефактів та неоднорідностей освітлення, що є критично важливим для стабільної роботи більш складних методів, зокрема алгоритмів сегментації або розпізнавання. У рамках цього блоку реалізуються операції, які трансформують просторові, кольорові та статистичні характеристики вхідного сигналу до уніфікованого вигляду.

Не менш важливим структурним елементом є модуль взаємодії з периферійними пристроями. Його функціонування забезпечує підтримку

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратного захоплення зображень у реальному часі. Він інтегрує API для роботи з камерами, сканерами та спеціалізованими сенсорами, що дозволяє реалізовувати як автономні, так і інтерактивні програми. Наявність цього компонента розширює можливості бібліотеки за межі офлайн-обробки й робить її придатною для використання в системах моніторингу, відеоаналітики та робототехніки.

Функціональна підсистема файлової обробки виконує роль сполучного каналу між вхідними і вихідними даними. Її інтеграція до архітектури дозволяє працювати з широким спектром графічних форматів, забезпечувати збереження проміжних і фінальних результатів, а також оперувати метаданими, такими як географічні координати або діагностичні параметри. Саме цей блок відповідає за сумісність бібліотеки з іншими програмними і діагностичними системами.

Окремо слід виділити модуль перекодування зображень, який дозволяє трансформувати вхідні дані між різними форматами і кольоровими просторами, а також змінювати розрядність, розмір і структуру зображення. Він необхідний для приведення вхідного сигналу до уніфікованої форми або для оптимізації обробки у системах з обмеженими ресурсами. Крім того, даний компонент є критичним у випадках, коли результати обробки передаються в інші модулі або програми, що мають специфічні вимоги до структури вхідних зображень.

Центральним логічним компонентом бібліотеки є блок алгоритмів сегментації. Його призначення полягає в розділенні вхідного зображення на смислово однорідні регіони для подальшого аналізу, інтерпретації або вимірювання. Для підвищення модульності та керованості цей блок розділено на кілька незалежних підмодулів. Перший з них реалізує підхід на основі інтенсивності пікселів, де процес сегментації зводиться до виявлення регіонів із подібними значеннями яскравості або кольору. Другий підмодуль ґрунтується на аналізі границь та геометричних властивостей об'єктів. Третій забезпечує підтримку нейромережевих підходів до сегментації, використовуючи глибокі згорткові моделі для складних або варіабельних даних. Четвертий виконує постобробку отриманих сегментів, покращуючи їхню якість та готуючи до експорту або подальшого аналізу.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Візуально узагальнену структура цифрової бібліотеки сегментації зображень наведено на рисунку 2.5.

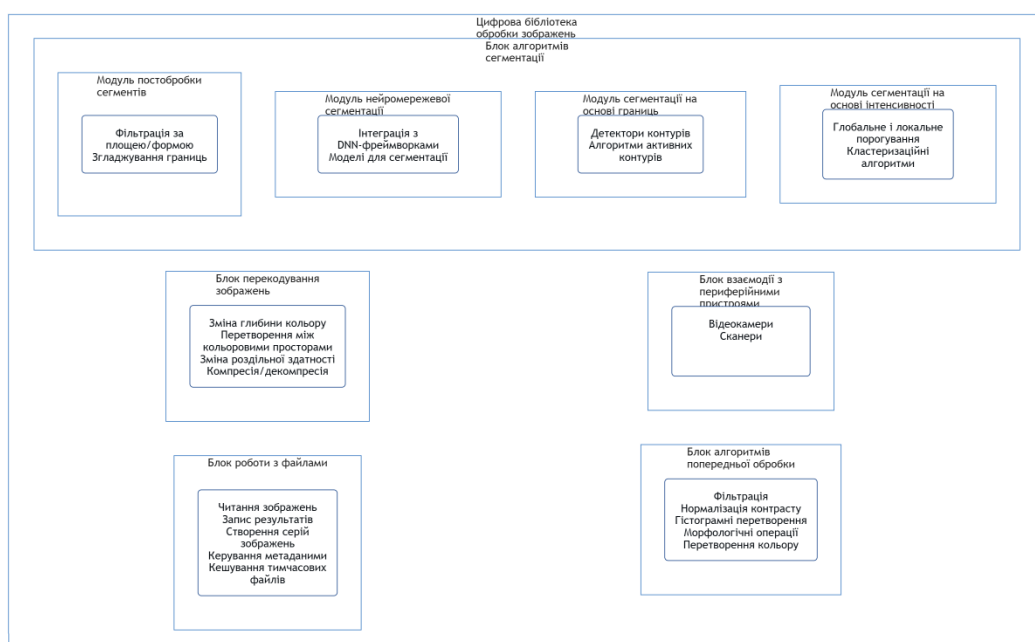


Рисунок 2.5 – Узагальнена структура цифрової бібліотеки сегментації кольорових цифрових зображень

Таким чином, запропонована структура охоплює повний життєвий цикл цифрового зображення від моменту захоплення, попередньої обробки та сегментації – до збереження, аналізу та передачі в інші системи. Використання даної бібліотеки дозволить скоротити час написання програмних додатків, що містять елементи обробки цифрових зображень. Бібліотека підтримує інтерфейси взаємодії з стандартними класами мови Java та може бути легко інтегрована в проекти на даній мові.

3 БІБЛІОТЕКА АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Програмний додаток обробки цифрових зображень

Сегментація цифрових зображень відіграє фундаментальну роль у процесах машинного аналізу візуальної інформації, забезпечуючи виділення об'єктів або структур для подальшого розпізнавання, класифікації чи оцінювання. В умовах зростаючої потреби у точних та адаптивних інструментах для обробки зображень, особливо в прикладних сферах зростає попит на універсальні та розширювані програмні рішення. На базі сучасного стеку технологій Java було реалізовано програмний додаток, ядром якого є спеціалізована авторська бібліотека алгоритмів цифрової обробки, аналізу та структурного опису зображень. У межах цієї бібліотеки було реалізовано більшість відомих класичних та сучасних алгоритмів, що дозволило створити гнучку, самодостатню систему.

Програмна система побудована за модульним принципом. Її структура організована навколо внутрішньої бібліотеки, що містить реалізації процедур попередньої обробки, структурного аналізу, сегментації та опису внутрішніх суен зображення. На першому рівні реалізується обробка вхідних даних, що включає імпорт цифрових зображень із різних графічних форматів, приведення їх до уніфікованої глибини кольору та нормалізацію просторових характеристик. Цей етап забезпечує стабільність подальших обчислень та знижує чутливість до артефактів, шумів чи нерівномірностей освітлення.

Ключовим структурним блоком додатку є сегментаційне ядро, яке здійснює обчислювальний поділ зображення на структурно або семантично однорідні області. Основою для цього є бібліотечний модуль, який включає реалізації класичних алгоритмів на основі інтенсивності пікселів та градієнтів. Для кожного алгоритму було передбачено можливість налаштування параметрів, що дозволяє адаптувати процес сегментації до різних типів вхідних зображень.

Основна розробленого програмного забезпечення це перевірка функціональних моливостей реалізованої цифрової бібліотеки. Оскільки для програм обробки зображень одним з голоних критеріїв є зручний та інтуїтивно

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

зрозумілий інтерфейс, для швидкого опанування програмою та виконання поставлених завдань. Тому в процесі реалізації до нього була приділено додаткову увагу. На рисунку 3.1 наведено Графічний інтерфейс головного вікна програмного додатку.

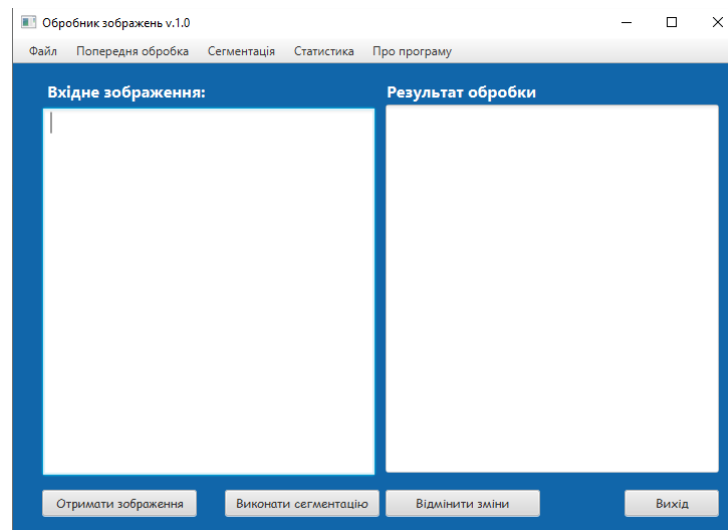


Рисунок 3.1 – Головне вікно програмного додатку

Дизайн головного вікна програми було візуально розділено на декілька частин, що відповідають групам завдань при роботі з цифровими зображеннями.

Головне меню програми. У верхній частині головного вікна розташовано меню керування, яке представлено п'ятьма текстовими пунктами: Файл, Попередня обробка, Сегментація, Статистика та Про програму. Кожен із цих пунктів передбачає розкритий список підменю або виклик відповідних модулів. Структура меню відображає послідовність етапів роботи з цифровим зображенням: від початкового імпорту та підготовки до сегментації та подальшого статистичного аналізу результатів. Логічна послідовність пунктів сприяє зниженню когнітивного навантаження користувача, дозволяючи працювати в інтуїтивно зрозумілому порядку.

Робоча область – це основна панель інтерфейсу поділена на дві частини, що мають рівні розміри та однакову графічну реалізацію. Ліва частина використовується для відображення зображення до процесу опрацювання та ідентифікується назвою «Вхідне зображення». Права частина використовується для візуалізації результатів вхідного зображення деяким алгоритмом. Для

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кращого сприйняття виділена надписом «Результат обробки». Обидві зони мають вигляд вікон білого кольору, призначених для виведення графічного вмісту. Така візуальна паралельність реалізує принцип прямого зіставлення, що дозволяє користувачу легко інтерпретувати зміни між початковим і обробленим зображенням.

Кожне з вікон передбачає відображення зображень у вигляді растрового полотна, яке може бути масштабоване або оновлене відповідно до дій користувача. Візуальна симетрія панелей підтримує концепцію двофазної взаємодії: спочатку подається вхідне зображення, а після обробки генерується результат, доступний для аналізу або подальшого збереження.

Останній великий елемент графічного інтерфейсу – це панель керування діями. Вона знаходиться у нижній частині вікна. Дана область включає чотири елементи. Кнопка «Отримати зображення» ініціює процес імпорту вхідного файлу з локального диска через стандартний діалог файлової системи. Кнопка «Виконати сегментацію» викликає обраний алгоритм із внутрішнього модуля обробки, запускаючи процедуру аналізу та поділу зображення на семантичні області. Елемент «Відмінити зміни» виконує скасування останніх операцій, відновлюючи початковий стан вхідного зображення або очищаючи поле результатів. Кнопка «Вихід» закриває додаток, завершуючи сеанс роботи.

Кожна кнопка має однакові візуальні розміри, що забезпечує візуальну однорідність і легко сприймається з точки зору ергономіки. Розташування елементів зліва направо відповідає природному порядку дій користувача при обробці зображення, тим самим дотримуючись принципів спрямованої інтерфейсної навігації.

Використана кольорова палітра побудована на контрастному поєднанні темно-синього фону та світлих елементів взаємодії. Такий дизайн підвищує читаємість та дозволяє зосередити увагу користувача на функціональних зонах. Обрана кольорова схема підтримує візуальну ієрархію компонентів і не перевантажує сприйняття, що є суттєвим при тривалому використанні додатку. Шрифти мають достатню товщину та розмір для комфортного сприйняття, що

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

відповідає вимогам доступності інтерфейсів у професійному програмному забезпеченні.

В загальному інтерфейс є лаконічним, інтуїтивно зрозумілим і структурно збалансованим. Завдяки використанню двох основних панелей користувач легко орієнтується в процесі роботи з зображенням. Меню охоплює всі необхідні функції для професійного та навчального використання, а розміщення кнопок сприяє швидкій взаємодії навіть без попередньої підготовки. Кольорова палітра витримана у спокійному темно-синьому тоні з білими панелями, що забезпечує достатній візуальний контраст і не перевантажує зір. Шрифти чіткі та достатньо великі для комфортного сприйняття.

Для детального ознайомлення з функціональними можливостями програмного додатку проаналізуємо основні підпункти головного меню. Тут можна виділити Два основних компонента і два допоміжних. Першим з головних елементів є пункт меню «Попередня обробка» (рисунки 3.2)

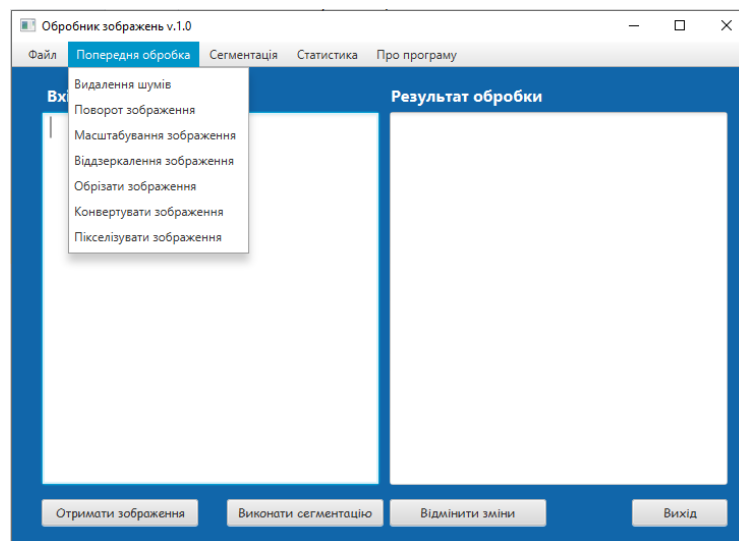


Рисунок 3.2 – Пункт меню «Попередня обробка»

Меню «Попередня обробка» складається з семи підменю, кожне з яких реалізує окрему категорію фільтраційних або геометричних перетворень над зображенням. Ці функції не лише покращують візуальну якість зображення, а й адаптують його структуру до подальшої сегментації, знижуючи чутливість

алгоритмів до шумів, варіацій освітлення, геометричних викривлень та надлишкової інформації.

Видалення шумів передбачає застосування просторових фільтрів згладжування. Така процедура є важливою для підвищення стійкості сегментаційних алгоритмів, особливо вододільного типу або методів активних контурів.

Поворот зображення дозволяє здійснювати обертання растрового зображення на довільно заданий користувачем кут. Це необхідно у випадках, коли просторове положення об'єкта впливає на його подальшу інтерпретацію або при роботі з некаліброваними вхідними потоками.

Масштабування зображення реалізує зміну роздільної здатності зображення шляхом інтерполяції. Функція актуальна як для підготовки зображення до подання в нейромережеві моделі фіксованого формату, так і для візуального збільшення регіонів інтересу.

Віддзеркалення зображення забезпечує симетричну трансформацію вздовж горизонтальної чи вертикальної осі. Цей інструмент має особливу цінність при виправленні помилок орієнтації знімків.

Обрізати зображення дозволяє вручну виділити прямокутну підобласть вхідного зображення для аналізу. Така операція зменшує обсяг оброблюваної інформації, знижуючи обчислювальне навантаження та підвищуючи точність роботи локальних алгоритмів.

Конвертувати зображення призначена для трансформації кольорового зображення у відтінки сірого або в інші колірні простори, що може бути важливо для алгоритмів, чутливих до спектральної інформації.

Пікселізувати зображення виконує зменшення просторової роздільної здатності шляхом агрегування пікселів у блоки. Такий підхід дозволяє зменшити деталі фону, посилити великомасштабні структури та візуалізувати локальні закономірності, які можуть бути загублені при високій роздільності.

Іншим важливим пунктом меню є «Сегментація» (рисунок 3.3). В даному пункті було під'єднано усі алгоритми сегментації, що були реалізовані в цифровій бібліотеці. Винесення даних алгоритмів в окремий блок було виконано з метою

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

спрощення процебури тестування функціональних можливостей прорамного додатку.

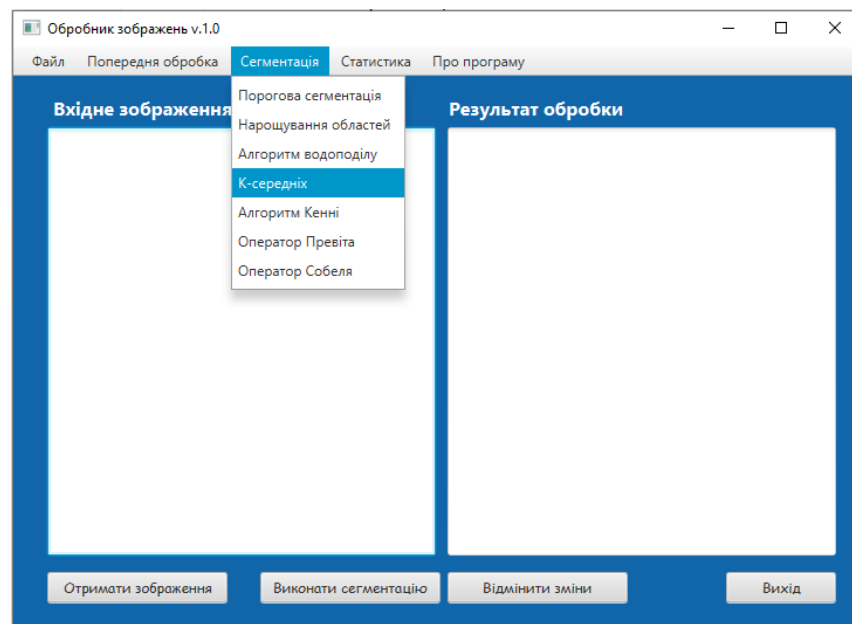


Рисунок 3.3 – Пункт меню «Сегментація»

Меню «Сегментація» є інтегрованою панеллю керування основними алгоритмами, які застосовуються для аналізу просторової структури зображення. Його структура охоплює основні концептуальні підходи до сегментації: інтенсивнісні, регіональні, кластеризуючі та градієнтно-контурні. Це дозволяє користувачу обрати метод, найбільш відповідний до специфіки вхідного зображення або цільового завдання.

У меню представлено сім алгоритмічних варіантів:

- Порогова сегментація забезпечує базовий спосіб розділення зображення шляхом встановлення одного або кількох порогів значень яскравості, що дозволяє виділити об'єкти, контрастно відокремлені від фону.
- Нарощування областей реалізує підхід, заснований на просторовій та інтенсивнісній однорідності, розширюючи початкові маркери за заданим критерієм подібності.
- Алгоритм вододілу інтерпретує яскравісну карту як топографічну поверхню, ідентифікуючи межі регіонів за аналогією до природних водорозділів.

— К-середніх (k-means) впроваджує кластеризаційний підхід, розділяючи пікселі зображення на групи на основі їх кольорових або текстурних характеристик.

— Алгоритм Кенні застосовується для детекції контурів об'єктів, що є основою для побудови точкових або лінійних сегментів.

— Оператор Превітта і Оператор Собеля виконують градієнтний аналіз зображення, виявляючи ділянки з інтенсивними переходами, які часто відповідають межах об'єктів.

Наявність широкого набору алгоритмів у меню сегментації дозволяє більш повно оцінити можливості цифрової бібліотеки та можливість використовувати її для задач різного рівня складності. Користувачі отримують змогу варіювати методи залежно від якості, типу або роздільної здатності зображення. Такий підхід дозволяє протестувати декілька стратегій сегментації в одному середовищі без потреби у зовнішньому програмному забезпеченні.

Окрім того присутні два менш функціональні пункти меню це «Файл» та «Статистика». В пункті меню «Файл» було зібрано основні операції з операційною системою, а саме завантаження, збереження файлів. Це функції було винесено в окремий пункт, оскільки вони несуть логічно незалежне навантаження та дозволить зробити інтерфейс більш очевиднішим для користувачів. Пункт «Статистика» (рисунок 3.4) дозволяє отримати статистичну інформацію про зображення та процес його обробки.

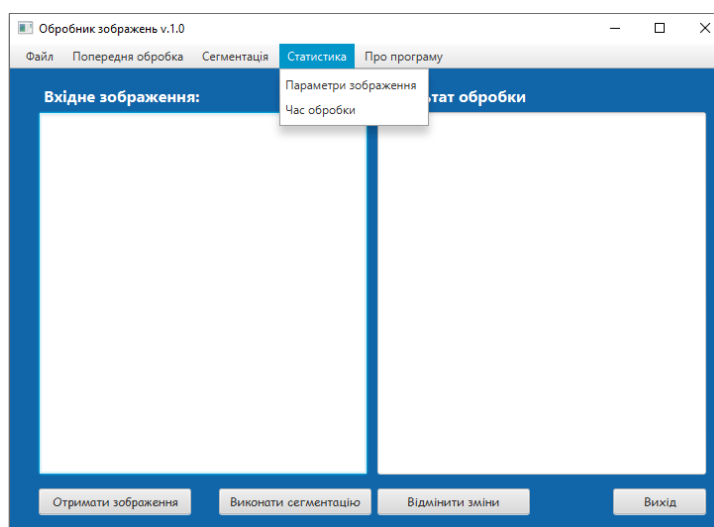


Рисунок 3.4 – Пункт меню «Статистика»

В даному пункті можна отримати інформацію про характеристики цифрового зображення:

- розмір (в пікселях);
- вага (в байтах);
- формат;
- місце розташування;
- остання операція над ним тощо.

Орім того тут можна отримати дані про час виконання останньої обробки, наприклад тривалість процесу сегментавання.

3.2 Тестування бібліотеки алгоритмів обробки зображень

Для оцінки функціональних можливостей розробленої бібліотеки було проведено ряд дослідів. Над вхідними цифровими зображеннями було проведено ряд операцій. Отримані результати проілюстровані нижче.

Обрізка цифрового зображення – це виділення певної прямокутної області зображення з метою фокусування на ділянці інтересу. У результаті формується нове зображення меншого розміру, яке містить лише вибраний фрагмент початкового (рисунок 3.5).

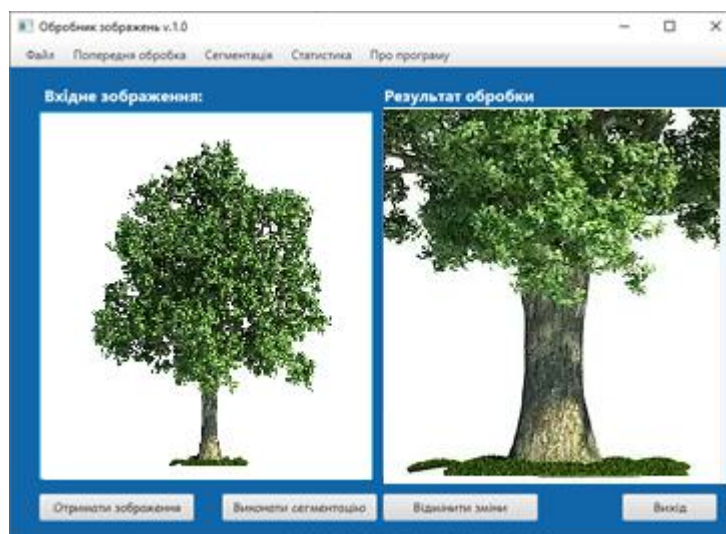


Рисунок 3.5– Результат «Обрізки» цифрового зображення

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операцію бінаризації можна описати як перетворення зображення у двотонний формат, при якому кожен піксель набуває лише одного з двох можливих значень: чорного або білого (рисунк 3.6). Вона здійснюється шляхом порогового перетворення, коли пікселі з яскравістю вище визначеного порогу відносяться до білого класу, а решта – до чорного. Бінаризація є базовим етапом при сегментації, розпізнаванні тексту, аналізі контурів та морфологічній обробці. Важливим моментом є вибір порогу: він може бути глобальним, локальним або адаптивним залежно від умов освітлення та контрасту на зображенні.

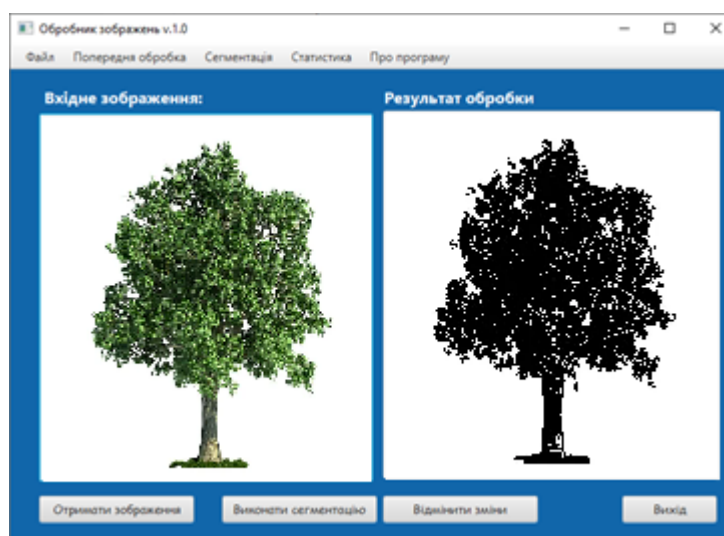


Рисунок 3.6– Результат «Бінаризації» цифрового зображення

Наступна операція, це операція перетворення кольорового зображення у формат відтінків сірого, де кожен піксель описується лише однією величиною, а саме яскравістю (рисунк 3.7). Трансформація виконується як зважене середнє значення каналів RGB з урахуванням психофізичних особливостей людського сприйняття, та відбувається за формулою:

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114*B.$$

Перетворення в градації сірого дозволяє зменшити розмір зображення та знизити обчислювальні витрати, зберігаючи при цьому найважливішу інформацію для подальшої обробки: градієнти, контури, текстури.

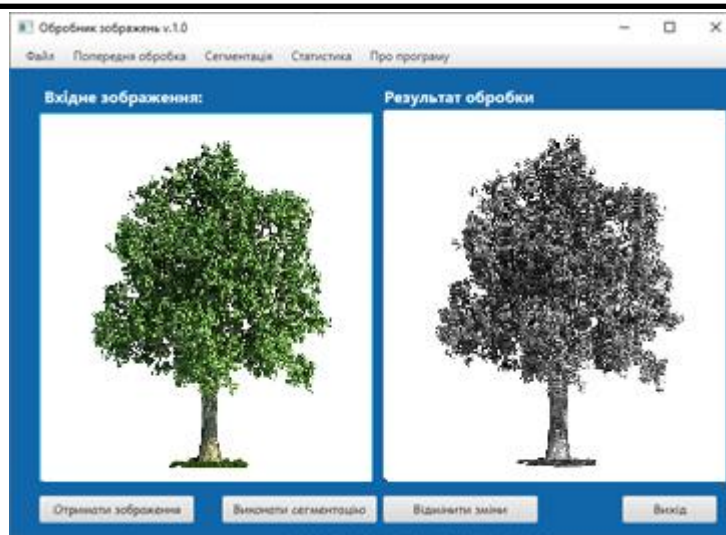


Рисунок 3.7 – Результат «Перетворення в градації сірого» цифрового зображення

Операція відображення – це геометрична трансформація, яка створює симетричну копію зображення щодо однієї з осей: горизонтальної або вертикальної. При горизонтальному відображенні змінюється порядок пікселів по ширині, при вертикальному – по висоті (рисунок 3.8). Відображення використовується для корекції орієнтації, порівняння зразків або генерації додаткових характеристик та ознак при навчанні моделей комп'ютерного зору. Дана операція виконується дуже швидко, а при великих розмірах цифрового зображення її розпаралелюють.

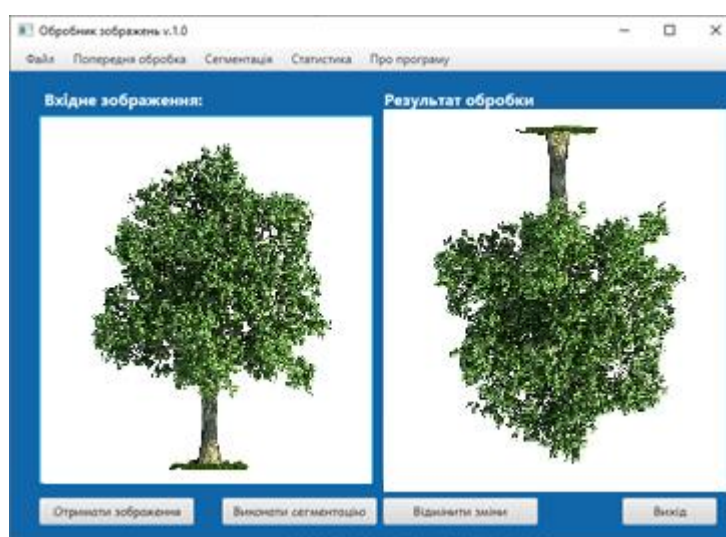


Рисунок 3.7 – Результат «Вертикального відображення» цифрового зображення

Під поворотом вважаємо обертання зображення навколо його центру на фіксований кут у межах площини (рисунок 3.8). Після повороту координати пікселів змінюються відповідно до матриці повороту. Поворот може супроводжуватися зміною розмірів зображення, якщо обертання відбувається на кут, не кратний 90° , що потребує додаткового заповнення фону або обрізки. Ця операція є ключовою при виправленні положення зображення, нормалізації даних або імітації поворотів у навчанні штучних нейронних мереж.

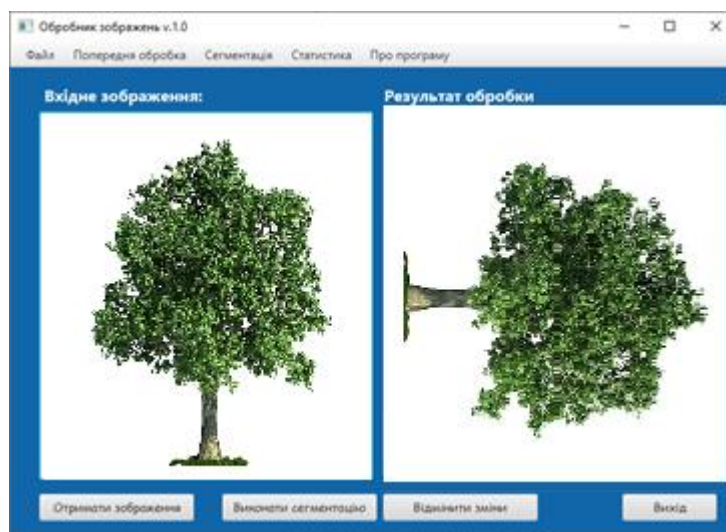


Рисунок 3.8 – Результат «Поворот» цифрового зображення

Піксалізація зображення – це процес навмисного зменшення просторової деталізації зображення шляхом агрегації суміжних пікселів у більші блоки, кожен з яких відображається як єдиний колір або значення яскравості (рисунок 3.9). Ця операція імітує зменшену роздільну здатність або спрощену візуальну структуру, внаслідок чого зображення набуває мозаїчної, блочної форми. На технічному рівні піксалізація реалізується шляхом розбиття зображення на рівномірні прямокутні блоки (наприклад, 8×8 або 16×16 пікселів), кожен з яких замінюється середнім або домінантним значенням кольору в межах цього блоку. Як результат, дрібні деталі, текстури або контури втрачаються, але зберігаються загальні форми та колірні масиви.

Особливістю піксалізації є її здатність підвищувати візуальну абстрагованість, що корисно у візуалізації великих структурних змін, попередній оцінці композиції.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

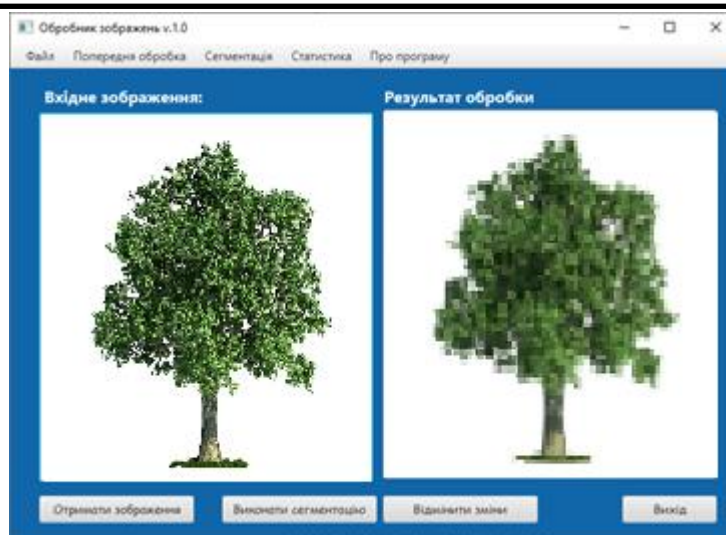


Рисунок 3.9 – Результат «Піксалізація» цифрового зображення

Сегментація зображення розділяє цифрове зображення на окремі одноріжні за певним критерієм області або об'єкти з метою їх подальшого аналізу, розпізнавання або класифікації. В загальному сегментація виконує роль фундаментального етапу, що дозволяє перетворити неструктурований набір пікселів у структуровану множину елементів (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Результат «Сегментації» цифрового зображення

Власна бібліотека є результатом дослідницької роботи спрямованої на створення платформонезалежного ядра для автоматизованої обробки цифрових зображень. У її складі реалізовано більшість алгоритмів, які використовуються у світовій практиці: від методів глобального та адаптивного порогоування,

регіонального розростання та кластеризації, до варіантів вододільної сегментації, контурного аналізу та багаторівневої морфології. Бібліотека підтримує як прості функції (фільтрація, трансформація кольору, морфологічні оператори), так і складні обчислювальні процедури (реєстрація, злиття сегментів, побудова регіонів). Всі алгоритми реалізовані безпосередньо на мові Java, що забезпечує платформну незалежність та просту інтеграцію з іншими модулями JVM.

3.3 Порівняння з бібліотеками-аналогами

Функціональність програмного додатку була перевірена на низці задач сегментації зображень різного характеру. Застосування бібліотечних алгоритмів у межах додатку дало змогу досягти високого рівня точності в задачах виділення меж об'єктів, поділу злиплених регіонів та побудови масок для подальшої класифікації. Методична перевірка показала стабільність алгоритмів навіть при зміні умов контрастності, текстурі та шумового рівня.

Оцінка та порівняння бібліотеки для обробки цифрових зображень на Java потребує чітко визначених критеріїв, які відображають їхню ефективність, гнучкість і придатність для вирішення прикладних задач. Нижче подано чотири ключові критерії, що найчастіше використовуються в технічному аналізі:

- Функціональна повнота — охоплення основних алгоритмів обробки зображень: фільтрація, сегментація, трансформації, морфологічні операції, підтримка кольорових просторів.

- Продуктивність та оптимізація — ефективність виконання операцій над зображеннями, використання апаратного прискорення, швидкість обробки великих обсягів даних.

- Гнучкість та розширюваність — можливість інтеграції з іншими фреймворками, підтримка модульності, легкість розширення бібліотеки власними алгоритмами.

– Документація та підтримка спільноти – доступність офіційної документації, прикладів використання, активність спільноти, наявність оновлень і підтримка актуальних версій Java.

Отримані результати порівняння були узагальнено та представлено у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння бібліотек алгоритмів обробки зображень

Критерій	OpenIMAJ	BoofCV	Marvin	Власний
Функціональна повнота	Високий рівень	Дуже високий рівень	Базовий рівень	Високий рівень
Продуктивність	Середня	Висока	Середня	Середня
Гнучкість та розширюваність	Висока	Висока	Обмежена	Допускається
Документація та підтримка	Активна спільнота	Документація повна	Документація обмежена	В процесі створення

В загальному можна зробити висновки, що реалізовано бібліотека алгоритмів обробки цифрових зображень у повній мірі надає можливість користувачам створити програмні засоби обробки та аналізу цифрових зображень на мові Java.

ВИСНОВКИ

На основі здійсненого в процесі виконання індивідуального завдання створення програмного додатку оптимізації запитів до генеративних моделей на основі використання алгоритмів обробки природніх мов, засобів штучного інтелекта та аналізу функціональних можливостей програмних меседжерів можна зробити наступні висновки:

1) Проведено аналіз та класифікацію основних типів цифрових зображень, на основі визначення способів їх отримання та кодування, що дозволило визначити передік типів для роботи;

2) Проаналізовано алгоритми обробки цифрових зображень, на основі їх функціональних можливостей, що дозволило провести процес їх класифікації;

3) Проведено дослідження бібліотек алгоритмів обробки цифрових зображень, на основі їх наповненості, що дозволило виділити основні алгоритми, які використовуються на сьогодні;

4) Проведено класифікацію алгоритмів сегментації цифрових зображень на основі аналізу характеристики визначення обднорідності, що дозволило виділити групу алгоритмів для включення їх в структуру цифрової бібліотеки;

5) Спроектовано структуру програмної бібліотеки алгоритмів сегментації цифрових зображень, що дозволило реалізувати з її допомогою програмний дотаток та оцінити її функціональні можливості;

6) Програмно реалізувано алгоритми сегментації цифрових зображень для цифрової бібліотеки та проведено порівняння розробленої бібліотеки з аналогами.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Царук П.Р., Іванців Б.Я. Програмна бібліотека алгоритмів обробки та розпізнавання цифрових зображень. Збірник тез II Всеукраїнської науково–практичної конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі», Тернопіль, 20 травня 2025 р. с. 134–135.

2. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Бакалавр” спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ЗУНУ, 2020. 60с.

3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Техніко– економічне обґрунтування розробки комп'ютерних систем»/ Н.Я. Савка, І.Р. Паздрій / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 40 с.

4. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» / І.В. Гураль, Л.О. Дубчак / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.

5. Гороховський С.С., Мороз А.В. Сегментація зображень із використанням генетичних алгоритмів. Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки, 2021, т. 4, с. 52–55.

6. Ямковенко І.Р., Полякова М.В. Сегментація кольорових зображень із застосуванням кластеризації суперпикселів і градієнтного оператора. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я, тези доп. 31-ї Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2023, Харків, 17–20 травня 2023 р., с. 1149.

7. Liao J., Wang Y., Yin J., Liu L., Zhang S., Zhu D. Segmentation of Rice Seedlings Using the YCrCb Color Space and an Improved Otsu Method. Agronomy, 2018, 8(11):269.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

8. Jiang J., Zheng L., Luo F., Zhang Z. RedNet: Residual Encoder-Decoder Network for Indoor RGB-D Semantic Segmentation. arXiv preprint, 2018.
9. Sun S., Yang L., Liu W., Li R. Feature Fusion through Multitask CNN for Large-scale Remote Sensing Image Segmentation. arXiv preprint, 2018.
10. Lahiani A., Gildenblat J., Klamann I., Navab N., Klaiman E. Generalizing Multistain Immunohistochemistry Tissue Segmentation Using One-shot Color Deconvolution Deep Neural Networks. arXiv preprint, 2018.
11. Kulikov V., Yurchenko V., Lempitsky V. Instance Segmentation by Deep Coloring. arXiv preprint, 2018.
12. Wu Y., Li Q. The Algorithm of Watershed Color Image Segmentation Based on Morphological Gradient. Sensors, 2022, 22(21):8202.
13. García-Lamont F., Cervantes J., Lopez-Chau A., Rodríguez L. Segmentation of Images by Color Features: A Survey. Neurocomputing, 2018, 292, c. 1–27.
14. Kurama V., Alla S., Image Semantic Segmentation Using Deep Learning. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2018, 10(12), c. 1–10.
15. Liu X., Deng Z., Yang Y. Recent Progress in Semantic Image Segmentation. Artificial Intelligence Review, 2019, 52, c. 1089–1106.
16. Ismael A.N. Comparative Study for Different Color Spaces of Image Segmentation Based on Prewitt Edge Detection Technique. Journal of Education for Pure Science, 2018, 10(1), c. 1–10.
17. Jain S., Laxmi V. Color Image Segmentation Techniques: A Survey. В кн.: Proceedings of the International Conference on Microelectronics, Computing & Communication Systems, 2018, c. 189–197.
18. Ran J. Research Progress of Image Segmentation. Highlights in Science, Engineering and Technology, 2022, 28, c. 1–5.
19. Luo C., Hao Y., Tong Z. Research on Digital Image Processing Technology and Its Application. Proceedings of the 2018 8th International Conference on Management, Education and Information (MEICI 2018), 2018, c. 587–592.
20. Zhou D., He G., Xu K., Liu C. A two-stage hue-preserving and saturation improvement color image enhancement algorithm without gamut problem. IET Image Processing, 2023, 17(1), c. 24–31.

21.Zhang L., Zhang L., Zhang L. Application research of digital media image processing technology based on wavelet transform. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2018, 2018:138.

22.Huang S., Xu J., Liu Z., Sun K., Lu Y. Image haze removal based on rolling deep learning and Retinex theory. IET Image Processing, 2022, 16(2), c. 485–498.

23.Yan J., Chen X., Xie T., Zhao H. Research on Color Image Segmentation. Lecture Notes in Computer Science, 2017, 10668, c. 25–34.

24.Zhang J., Min X., Jia J., Zhu Z., Wang J., Zhai G. Fine localization and distortion resistant detection of multi-class barcode in complex environments. Multimedia Tools and Applications, 2021, 80(11), c. 16153–16172.

					КР.КІ. 9702425.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51