

УДК 004.932

DOI: [https://doi.org/ 10.17721/3041-2323.2025.183-202](https://doi.org/10.17721/3041-2323.2025.183-202)

Валентина ПЛЕСКАЧ, д-р екон. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0003-0552-0972

e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua

Ярослав КРИВОЛАПОВ, асист.

ORCID ID: 0000-0003-1151-9337

e-mail: y.kryvolapov@knu.ua

Гліб КРИВОЛАПОВ, студ.

ORCID ID: 0000-0002-0853-5881

e-mail: glebyk04@gmail.com

¹Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Київський столичний університет
імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті розглянуто методи та засоби створення програмного забезпечення для цифрового оброблення зображень, які забезпечують ефективне підвищення якості візуальних даних і їх підготовку до подальшого аналізу. Представлено результати розроблення пакета прикладних програм «Цифрова обробка зображень», що реалізує комплекс алгоритмів попереднього та частотного опрацювання, включно з методами підвищення контрастності, амплітудної й частотної фільтрації, усунення шумів та виділення контурів. Значну увагу приділено застосуванню імітаційного моделювання, яке дозволяє генерувати детерміновані й стохастичні зображення різних структур для тестування алгоритмів. Запропонований підхід забезпечує поєднання просторово-часових і спектральних методів, що сприяє підвищенню точності та достовірності результатів цифрової обробки. Отримані розробки можуть бути використані в медичній діагностиці, промисловому контролі, наукових дослідженнях і системах технічного зору.

Ключові слова: цифрове оброблення зображень, алгоритми покращення якості, імітаційне моделювання, амплітудна та частотна фільтрація, виділення контурів, спектральні перетворення, швидке перетворення Фур'є.

Вступ

Методи цифрового оброблення зображень посідають визначальне місце у міждисциплінарних дослідженнях і знаходять широке застосування в медицині, промисловості й аерокосмічних технологіях тощо. Їх використання забезпечує підвищення інформативності візуальних даних, зменшення впливу спотворень і створює умови для автоматизованого аналізу зображень різної природи. Постійне зростання обсягів даних і зростання вимог до точності оброблення зумовлюють необхідність подальшої автоматизації відповідних процедур.

У пакеті прикладних програм «Цифрова обробка зображень» (ЦОЗ), який розглянуто у цьому дослідженні, реалізовано комплекс інструментальних засобів, спрямованих на підвищення якості первинних зображень. Зазначене оброблення належить до етапу попередньої підготовки, результатом якого є зображення, тотожне за типом початковому, але з покращеними характеристиками.

Підвищення якості зображень зазвичай розглядають у двох аспектах. По-перше, таке оброблення може здійснюватися для покращення якості візуального сприйняття зображення людиною. У цьому випадку підвищення якості є кінцевим етапом цифрового оброблення зображень. Другим можливим варіантом постановки задачі є попереднє оброблення наступного автоматичного аналізу зображення. Тоді вимоги до якості перетвореного зображення, отже, і змісту оброблення визначають такими етапами аналізу зображення.

У більшості випадків оцінювання якості зображень ґрунтується на суб'єктивному візуальному сприйнятті людини-спостерігача, тоді як застосування об'єктивних кількісних показників використовують значно рідше. В умовах автоматизованого аналізу ефективність попереднього оброблення зазвичай оцінюють лише за кінцевими результатами розв'язання основної задачі, що зумовлює необхідність розглядати методи, алгоритми та результати первинного етапу обробки у тісному зв'язку з подальшими стадіями аналізу.

Поряд із загальними питаннями, характерними для широкого кола завдань, є також ряд специфічних проблем, обумовлених

властивостями конкретних систем та умов спостереження. Унаслідок цього узагальнене формулювання задачі попереднього оброблення зображень є вкрай складним.

Доцільним є виокремлення основних типів перетворень, які забезпечують отримання покращеного зображення з початкового. На етапі попереднього оброблення зазвичай розглядають два базові класи перетворень: геометричні та амплітудні.

До найпоширеніших операцій геометричних перетворень належать кадрування, масштабування та обертання зображення. Амплітудні перетворення спрямовано на модифікацію структури яскравості таким чином, щоб найважливіші деталі зображення стали виразнішими, як для візуальної оцінки, так і для автоматизованого аналізу. У цьому контексті амплітудні перетворення використовують для підвищення якості вхідних даних.

До зазначеного класу відносять методи, реалізовані у пакеті прикладних програм «Цифрова обробка зображень», серед яких, зокрема, регулювання контрастності; амплітудна фільтрація; усунення фонового компонента; виділення лінійчастих структур; частотна фільтрація; контурне виділення контрастних областей.

Новизна статті полягає у створенні універсального програмного пакета, який поєднує методи попереднього та спектрального оброблення даних із застосуванням імітаційного моделювання для генерування тестових даних, що підвищує точність, ефективність і достовірність цифрового оброблення зображень.

Основна частина та результати

Цифрове оброблення зображень охоплює широкий спектр задач, що стосуються методів формування, представлення, трансформації, передавання та зберігання візуальних даних (Gonzalez, & Woods, 2018). Пакет прикладних програм (ППП), представлений у цьому дослідженні, орієнтовано на розв'язання задач цифрового оброблення та передбачає роботу, як із реальними зображеннями, так і з тими, які створюють засобами імітаційного моделювання (Umbaugh, 2025). Такий підхід забезпечує можливість генерування детермінованих і

стохастичних структур необхідної конфігурації та подальшого їх цифрового оброблення.

Розроблення результативних алгоритмів попереднього опрацювання зображень потребує масштабних експериментів для визначення їхніх характеристик. У цьому контексті особливе значення має застосування імітаційного моделювання, що дозволяє відтворювати різні типи вхідних даних. Моделювання детермінованих зображень об'єктів і процесів є важливим етапом у дослідженнях.

Сфера застосування цифрового оброблення зображень є надзвичайно широкою й охоплює аналіз зорових образів. На відміну від людини, яка сприймає лише електромагнітне випромінювання у видимому діапазоні, інформаційні технології дозволяють працювати практично з усім спектром хвиль – від ультразвукових до даних електронної мікроскопії (Jain, 1989).

Чіткого універсального критерію, що відділяв би оброблення зображень від суміжних напрямів, зокрема аналізу зображень або систем машинного зору, немає. Зазвичай вважають, що характерною особливістю оброблення є використання зображення, і як вхідного, і як вихідного сигналу. У межах широкого кола задач – від елементарних операцій до систем машинного зору – можна умовно виділити три рівні процесів (Rosenfeld, & Kak, 1982).

Низькорівневі, до яких належать базові операції, наприклад зменшення шуму чи підвищення контрастності, коли результат також подається у вигляді зображення.

Середньорівневі, що охоплюють сегментацію та розпізнавання окремих фрагментів зображення, де на виході отримуються ознаки, контури, характеристики або нові образи (Duda, & Hart, 1973).

Високорівневі, орієнтовані на інтерпретацію та осмислення множини розпізнаних об'єктів.

У більшості випадків цифрове зображення формують через дискретизацію та квантування безперервного природного сигналу.

У межах автоматизованого оброблення зображення можна трактувати як набір сигналів, параметри яких відображають

інтенсивність відображеного електромагнітного випромінювання. Під час цифрового опрацювання безперервне зображення, зафіксоване у визначений момент часу, через дискретизацію та квантування перетворюють у масив невід'ємних відліків, що відповідають вимірним значенням інтенсивності. У процесі дискретизації площа, яку займає зображення, поділяється на сітку прямокутних елементів із гранями, орієнтованими вздовж координатних осей. Центри цих елементів утворюють прямокутний растровий шаблон, який задає просторове розташування числових відліків. У підсумку формують цифрове зображення. Отриманий під час дискретизації масив зазвичай репрезентують у вигляді матриці, а операції з оброблення зображень інтерпретують як перетворення над матричними структурами.

Зображення є носієм інформації у візуальній формі, а ефективність її сприйняття людиною визначається низкою факторів. Найповніше врахування цих чинників можливе лише за умови дослідження широкого кола питань, що стосуються методів отримання зображень, особливостей зорового сприйняття та алгоритмів їх оброблення.

На сучасному етапі розвиток технічних і медичних методів діагностики тісно пов'язано з візуалізацією внутрішніх структур об'єктів (Dhawan, Buelloni, & Gordon, 1986). Існує велика кількість різних підходів до візуалізації. Поява нових методів не витісняє вже наявні, а лише розширює їхній набір. Кожен із методів ґрунтується на певних фізичних принципах взаємодії електромагнітного випромінювання з матеріалами, середовищами чи біологічними тканинами, що забезпечує можливість вимірювання різних фізичних характеристик досліджуваних об'єктів.

Моделювання фонових ситуацій. Для реалізації різноманітних алгоритмів перетворень першочерговим завданням є формування цифрового зображення. У випадках, коли відсутні реальні дані, отримані зі зображувальних систем і відповідні об'єкту спостереження, ця задача може бути розв'язана завдяки моделюванню (Jähne, 2005). При цьому можлива генерація

зображень (масивів відліків) різних об'єктів, де закон розподілу інтенсивності задається дослідником.

Під час створення алгоритмів імітації детермінованих об'єктів і процесів часто роблять припущення, що зображення, які відображають досліджуваний об'єкт, можуть бути представлені як комбінації простіших структур. Для їх моделювання застосовують елементарні геометричні примітиви – це багатокутники, кільця (кола й окружності) та лінійчасті елементи (наприклад, кути). У результаті формування таких структур отримують відповідне цифрове зображення. Зміна кількості рівнів квантування дозволяє створювати моделі зображень різних об'єктів і процесів на фоні з нульовим значенням.

Важливим аспектом імітації є врахування того, що під час формування зображень оптичними, телевізійними чи іншими системами «детерміновані» зображення неминуче спотворюються під дією шумів і завад. Вони можуть виникати, як у пристроях реєстрації та передавання, так і в середовищі поширення сигналів. Тому врахування шумових впливів є необхідною умовою для адекватного моделювання, коректної оцінки якості цифрових зображень і розроблення ефективних алгоритмів їхнього попереднього оброблення та відновлення. При імітації фонових процесів (шумів) формується цифрове зображення, де кожному пікселю растрової матриці ставиться у відповідність певне значення шуму. Такі значення отримують як реалізації випадкової величини, що підпорядковується заданому закону розподілу (наприклад, нормальному, рівномірному чи експоненційному) із визначеними параметрами, які описують характеристики шумового сигналу. Такий підхід забезпечує можливість моделювання різних типів шумів, характерних для конкретних зображувальних систем, та створює умови для контрольованої генерації завад з метою тестування методів цифрового оброблення та відновлення зображень (Graham, 1962).

У дослідженнях шум зазвичай описують як випадкову величину, яку отримують шляхом використання генератора нормально розподілених випадкових чисел, що ґрунтується на послідовності рівномірно розподілених випадкових значень. Під час моделювання зображень реальних об'єктів і процесів до

моделі детермінованого об'єкта або явища додається модель фонових впливів. В адитивному підході вважають, що зафіксований сигнал складається з корисної складової та шумової компоненти.

Попереднє оброблення зображень. Ефективність відновлення зображень значною мірою визначають якістю попереднього оброблення, у процесі якого з зафіксованого зображення формують оброблений варіант.

Термін «згладжування зображень» має два основних значення. Передусім, при корекції спотворень сигналу, що виникають у зображувальній системі, згладжування передбачає подавлення шумів, спричинених недосконалістю пристроїв, зокрема, адитивного, флуктуаційного, імпульсного характеру та інших. По-друге, при препаруванні зображень згладжування полягає у видаленні дрібних деталей, що ускладнюють сприйняття головних об'єктів.

Для зменшення ефектів шуму зазвичай застосовують процедуру згладжування, яка хоч часто виконує естетичну функцію, однак може мати і практичне значення для подальшого аналізу. Згладжування розглядають як двовимірний аналог базової обробки сигналів, спрямованої на усунення шуму з частотними компонентами поза діапазоном сигналу, що передається каналом (Gabor, 1965; Wiener, 1949).

Відомо багато методів, що використовуються для покращення умов спостереження та полегшення автоматизованого аналізу зображень. Деякі з них працюють безпосередньо у просторово-часовій області з початковим представленням зображення, тоді як інші виконують перетворення у частотній області, оперуючи спектральними характеристиками зображення.

Попереднє оброблення зображень у просторово-часовій області. До методів попереднього оброблення зображень у просторово-часовій області належать операції підвищення контрастності, видалення фону, амплітудна фільтрація та інші подібні перетворення, спрямовані на покращення візуальної якості зображень і полегшення їх подальшого автоматизованого аналізу. Використання цих методів дозволяє виділяти основні ознаки об'єктів, зменшувати вплив небажаних завад і

підготовлювати дані для наступних етапів оброблення у частотній або інших областях представлення зображення (Vaxes, 1994).

Головна мета методів поліпшення полягає у перетворенні зображень так, щоб вони стали контрастнішими та інформативнішими. Часто на зображенні спостерігають локальні спотворення, зумовлені дифракцією світла, недоліками оптичних систем або розфокусуванням, що вимагає виконання локальних перетворень. Адаптивний підхід дозволяє виділити найбільш інформативні ділянки та відповідним чином їх обробити.

Низький контраст є одним із найбільш поширених дефектів фотографічних і телевізійних зображень, що виникає через обмежений діапазон відтворюваних рівнів яскравості та часто поєднується з нелінійністю характеристики передачі. У багатьох випадках підвищення контрастності досягається шляхом корекції яскравості окремих пікселів за обраною характеристикою, що відповідає конкретним завданням. Для цифрових зображень отримання необхідної характеристики передачі рівнів є відносно простим. При використанні нелінійних операторів слід враховувати можливі помилки квантування (Dash, & Chatterji, 1991), оскільки недостатня кількість рівнів може спричинити появу артефактів, таких як хибні контури.

Фонове зображення характеризується тим, що інтенсивність кожного пікселя є реалізацією випадкової величини. Завдання фільтрації фону полягає у видаленні цих шумових компонентів із відліків вихідного зображення при мінімальних спотвореннях корисного сигналу. Один із поширених підходів для цього – нелінійна обробка за допомогою медіанної фільтрації.

Амплітудна фільтрація спрямована на виділення або пригнічення елементів зображення, інтенсивність яких знаходиться у заданих межах. Цю задачу можна ефективно вирішувати в рамках підходу зміни контрасту зображення.

Попередня обробка зображень у частотній області. Методи оброблення зображень у частотній області передбачають виконання двовимірних перетворень, таких як перетворення Фур'є, модифікацію отриманого спектра та обчислення зворотного перетворення для отримання покращеного

зображення (Blackman, & Tukey, 1959). Прикладами таких методів є низькочастотна та високочастотна фільтрація, причому високочастотна фільтрація особливо ефективна для виділення контурів об'єктів завдяки аналізу зображень у частотній області. Використання спектральних перетворень у процесі оброблення дозволяє суттєво підвищити якість зображень і покращити їхнє суб'єктивне сприйняття.

Для акцентування контурних елементів можна застосовувати методи просторового диференціювання, зокрема через просторові похідні. Відновлення зображення за такими спектрами дозволяє чітко виділити контури початкового зображення у вертикальному та горизонтальному напрямках (Criffith, 1971). Подальше комбінування відновлених зображень із застосуванням амплітудної фільтрації забезпечує ефективне виділення контурів контрастних об'єктів.

Опис логічної структури. На початковому етапі взаємодії з користувачем необхідно визначити спосіб формування вхідного зображення – завантаження з зовнішнього джерела або генерація за допомогою програмного моделювання. На наступному етапі користувач обирає один із методів попереднього оброблення: зворотне лінійне масштабування, лінійне масштабування, зріз яскравостей, одновимірна медіанна фільтрація або перехід до аналізу зображення у частотній області. У разі вибору обробки у частотній області користувачеві надається можливість обрати один із чотирьох видів операцій: обчислення спектра зображення, перетворення спектрів, високочастотна та низькочастотна фільтрація, а також виділення контурів об'єкта. Після завершення запланованого аналізу користувач може продовжити подальше оброблення зображення, повернутися на початковий етап пакета чи завершити роботу з програмним комплексом.

Програми моделювання зображень. При моделюванні зображень у вигляді багатокутників початковими параметрами є кількість сторін, масиви координат вершин, число рівнів квантування та індекс шуму. У разі відсутності шуму формують детермінований об'єкт або процес, тобто зображення реального об'єкта чи процесу. Для моделювання фонові ситуації додатково задають параметри шуму, зокрема для гауссівської

випадкової величини – це математичне очікування та середньоквадратичне відхилення. Результатом роботи є одно- або багаторівневе зображення багатокутника. При моделюванні зображень у вигляді кільця вихідними даними є координати центру, радіуси зовнішнього та внутрішнього кіл, число рівнів квантування та індекс шуму. У результаті формують цифрове зображення кільця. Для лінійчастих структур початковими параметрами є кут нахилу бісектриси до осі ОХ, кут між променем і бісектрисою, координати вершини базисного кута, відстань між вершинами сусідніх кутів, ознака товщини променя (одинарної або подвійної) та індекс шуму. На виході програма формує відповідне зображення променя. Програмна реалізація алгоритмів зміни контрастності та амплітудної фільтрації дозволяє керувати середньоарифметичним значенням інтенсивності пікселів і виділяти межі об'єктів, що покращує візуальне сприйняття зображень (Solomon, & Breckon, 2010).

У ППП «ЦОЗ» описано один із підходів підвищення якості зображень. Для реалізації алгоритмів зміни контрастності та амплітудної фільтрації початковими даними є початкове зображення та тип перетворення. Амплітудна фільтрація (зріз яскравостей) задає значення інтенсивності на зрізі, початок, ширину та тип зрізу (значення поза зрізом обнуляються або залишаються без змін). Лінійне або обернене лінійне масштабування, тут задаються мінімальне значення інтенсивності на перетвореному зображенні, кут зміни діапазону інтенсивностей (кут $< 45^\circ$ при звуженні, кут $> 45^\circ$ при розширенні), а також наявність обмежень і їхні параметри для мінімальних та максимальних значень інтенсивності. Результатом роботи програми є зображення, перетворене відповідно до заданих параметрів – зріз яскравостей із збереженням або без фону, лінійне або обернене масштабування з обмеженнями чи без них. Продемонстровані результати свідчать про високу ефективність використаних методів покращення зображень.

Результати роботи програми, що реалізує метод підвищення контрастності зображень, наведено на рис. 1 і на рис. 2, відповідно.



Рис. 1. Обробка зображення шляхом зміни контрастності:
 а) початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом



Рис. 2. Обробка зображення шляхом зміни контрастності:
 а) початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом

Результати роботи програми, що реалізує метод, який дозволяє ефективно керувати значенням інтенсивності пікселів зображення, наведено на рис. 3 та на рис. 4.



Рис. 3. Оброблення зображення через зміну яскравості зображення:
 а) вихідне початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом



а)

б)

Рис. 4. Оброблення зображення через зміну яскравості зображення: а) початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом

Програма медіанної фільтрації. Часто під час формування візуальних даних отримані зображення містять шум, що обумовлено недосконалістю апаратури, впливом зовнішніх факторів та іншими причинами, що призводить до погіршення якості сприйняття зображень і зменшення достовірності висновків, зроблених на їх основі. Тому актуальним завданням є усунення або зниження рівня шумів у зображеннях. Фільтрації шумів присвячено значну кількість досліджень, розроблено різноманітні методи та алгоритми (Pratt, 2007).

Термін «згладжування зображень» має подвійний зміст. Перший аспект стосується корекції спотворень сигналу, внесених зображувальною системою; у цьому випадку згладжування полягає у придушенні перешкод, пов'язаних з недосконалістю системи, таких як адитивні, флуктуаційні та імпульсні шуми. Другий аспект пов'язано з препаруванням зображень, коли згладжування спрямовано на видалення дрібних деталей, що заважають сприйняттю основних об'єктів. Одним із ефективних методів видалення імпульсних шумів є застосування медіанного фільтра. Для певного класу зображень придушення шумової складової можливо реалізувати за допомогою низькочастотної просторової фільтрації, особливо якщо зображення містить великі однорідні області яскравості та рівень шуму невисокий (Burger, & Burge, 2016).

Програмне забезпечення виконує перетворення початкового зображення з метою зменшення або усунення шумової складової. Початковими даними для роботи програми, зокрема, є вхідне зображення; розмір вікна фільтрації; напрямок фільтрації (рядки або стовпці). Фільтрацію здійснюють через застосування одномірної медіанної операції до кожного рядка чи стовпця матриці зображення. Після кожного кроку програма обчислює середнє значення інтенсивності та оцінює відносне зменшення шуму порівняно з попереднім етапом. Продовження або припинення процесу фільтрації визначається користувачем. Результати роботи модуля, що реалізує метод фільтрації зображень, наведено на рис. 5, рис. 6 та рис. 7 відповідно.

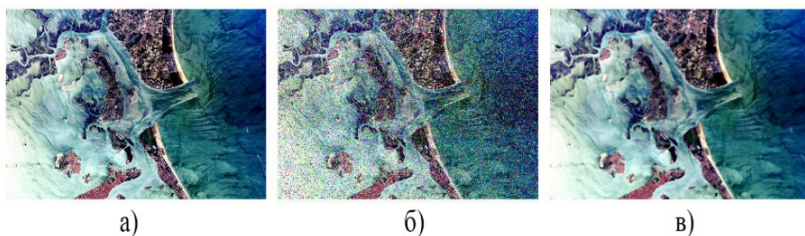


Рис. 5. Оброблення зашумленого зображення методом медіанної фільтрації: а) початкове зображення; б) зашумлене зображення; в) зображення, оброблене запропонованим методом

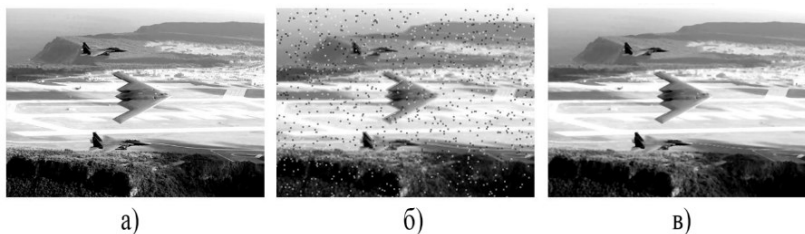


Рис. 6. Оброблення зашумленого зображення методом медіанної фільтрації: а) початкове зображення; б) зашумлене зображення; в) зображення, оброблене запропонованим методом

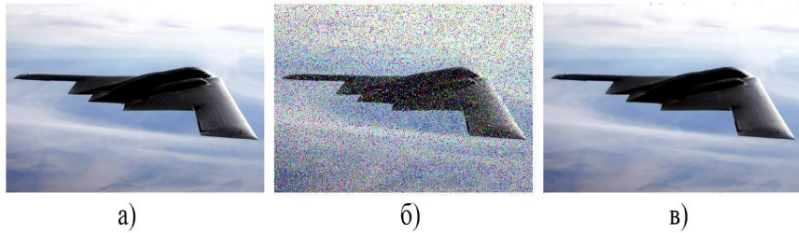


Рис. 7. Оброблення зашумленого зображення методом медіанної фільтрації: а) початкове зображення; б) зашумлене зображення; в) зображення, оброблене запропонованим методом

Програма швидкого перетворення Фур'є. При реалізації стандартного алгоритму прямого та зворотного двовимірного швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) як вихідні дані використовувалися початкове зображення та такі параметри: розмірність матриці; тип перетворення (пряме або зворотне ШПФ). Суть перетворення полягає у формуванні перетвореної матриці зображення через обчислення суми квадратів дійсної та уявної частин спектра, із подальшим перегрупуванням елементів матриці. Результатом роботи є спектр вихідного зображення, що зберігається у вигляді масивів дійсної та уявної частин коефіцієнтів Фур'є. Програмна реалізація алгоритмів частотної обробки зображень забезпечує перетворення масиву відліків початкового зображення у частотній області через виділення або відсікання певного діапазону частот (Parker, 2010). Окрім самого зображення, початковими даними для програми є: параметр фільтра; ширина фільтру; тип фільтрації (виділення або видалення частот).

Для виконання перетворень у частотній області програма застосовує пряме та зворотне ШПФ.

Моделювання алгоритмів оброблення зображень із функціональним перетворенням спектрів. У програмному забезпеченні реалізовано алгоритми оброблення зображень із функціональним перетворенням спектрів. Після завантаження початкового зображення у вигляді масиву дійсних чисел, що відображають інтенсивність пікселів, активується режим прямого ШПФ, і обчислюються масиви коефіцієнтів спектра

Фур'є для вихідного зображення. Далі дійсні частини заносяться у вихідний масив, формуються масиви амплітудної та фазової компонент спектра, після чого виконується обране перетворення відповідно до заданого параметра.

Моделювання алгоритму виділення контурів. Інтуїтивно край об'єкта на зображенні визначають як межу між двома областями з приблизно однорідною яскравістю. Часто краї з'являються через наявність силуетних ліній об'єктів. Однією з основних проблем при розробленні методів виділення країв є те, що припущення, на яких вони базовані, не завжди виконуються в реальних умовах (Rosenfeld, & Troy, 1970). Ще однією складністю при створенні обчислювальних схем для виділення країв є нечітке формулювання самої задачі, як визначити, чи край пропущений, чи з'явився хибний край. Відповідь на це питання залежить від цілей подальшого використання результату. У програмі, що реалізує алгоритм виділення контурів контрастних зображень, після завантаження початкового зображення та обчислення масивів коефіцієнтів спектра Фур'є дані перетворюються шляхом відновлення просторових похідних у горизонтальному та вертикальному напрямках із подальшим сумуванням результатів для формування контурів. Результати роботи програми, що реалізує метод виділення контурів об'єктів на зображенні, наведено на рис. 8, рис. 9, рис. 10 відповідно.



Рис. 8. Оброблення зображення через виділення контурів об'єктів на зображенні: а) початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом



Рис. 9. Оброблення зображення через виділення контурів об'єктів на зображенні: а) початкове зображення; б) зображення, оброблене запропонованим методом

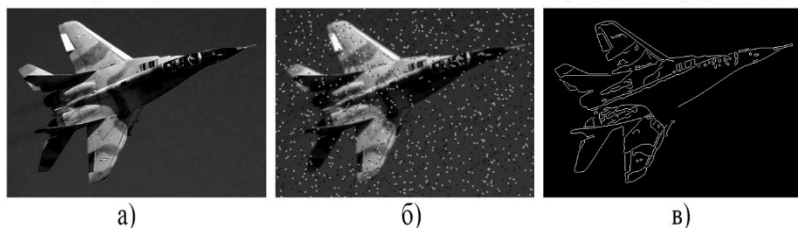


Рис. 10. Оброблення зображення через виділення контурів об'єктів: а) початкове зображення; б) зашумлене зображення; в) зображення, оброблене запропонованим методом

Дискусія і висновки

У процесі дослідження розроблено алгоритми для формування детермінованих зображень різних типових конфігурацій об'єктів, зокрема багатокутників, круглих фігур і лінійчастих структур із різними рівнями інтенсивності. Створено алгоритми попереднього оброблення зображень у просторово-часовій області, включно з методами підвищення контрастності, видалення фону та амплітудної фільтрації. На основі алгоритму швидкого перетворення Фур'є розроблено методи частотної фільтрації, виділення контурів та функціонального перетворення спектрів, що забезпечують ефективне розв'язання задач попереднього оброблення зображень у частотній області.

Для практичної реалізації цих алгоритмів створено програмні модулі, які лягли в основу пакета прикладних програм «Цифрова обробка зображень». Значущість проведеного дослідження полягає в тому, що сучасні системи обробки зображень вимагають високої точності та ефективності аналізу візуальної інформації. Результати доводять, що найбільш ефективним підходом до покращення якості зображень є поєднання методів обробки у частотній області з попередньою підготовкою у просторово-часовій області. Такі дослідження мають велике практичне значення для розвитку сучасної візуалізації, медичної діагностики, промислового контролю та наукових досліджень, де важлива точність і достовірність обробленої інформації.

Список використаних джерел

- Baxes, G. (1994). *Digital Image Processing: Principles and Applications*. Wiley.
- Blackman, R., & Tukey, J. (1959). *The Measurement of Power Spectra from the Point of View of Communications Engineering*. Dover Publications.
- Burger, W., & Burge, M. (2016). *Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction Using Java* (2nd ed.). Springer.
- Criffith, A. (1971). Edge detection in simple scenes using a priori information. *IEEE Transactions on Computers*, 22(5), 551–561.
- Dash, L., & Chatterji, B. (1991). Adaptive contrast enhancement and de-enhancement. *Pattern Recognition*, 24(4), 289–302.
- Dhawan, A., Buelloni, G., & Gordon, R. (1986). Enhancement of mammographic features by optimal adaptive neighborhood image processing. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 5(1), 8–15.
- Duda, R., & Hart, P. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. Wiley.
- Gabor, D. (1965). The smoothing and filtering of two-dimensional images. *У Progress in Biocybernetics* (Vol. 2).
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2007). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2018). *Digital Image Processing Using MATLAB* (3rd ed.). Gatesmark Publishing.
- Gopi, S. (2008). *Digital Image Processing Using MATLAB*. PHI Learning.
- Gordon, R., & Rangayyan, R. (1984). Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptive neighborhoods. *Applied Optics*, 23(4), 560–564. <https://doi.org/10.1364/AO.23.000560>.
- Graham, R. (1962). Snow removal - A noise-stripping process for picture signals. *IRE Transactions on Information Theory*, 8(2), 129–137.
- Jähne, B. (2005). *Digital Image Processing* (6th ed.). Springer.
- Jain, A. (1989). *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall.
- Natheem, A. (2021). *Digital Image Processing Using MATLAB: Zero to Hero Practical Approach with Source Code*. Independently published.
- Parker, J. (2010). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision* (2nd ed.). Wiley.

- Pratt, W. (2007). *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside* (4 th ed.). Wiley-Interscience.
- Qidwai, U., & Chen, C. (2013). *Digital Image Processing: An Algorithmic Approach with MATLAB*. CRC Press.
- Rosenfeld, A., & Kak, A. (1982). *Digital Picture Processing* (2nd ed.). Academic Press.
- Rosenfeld, A., & Troy, E. (1970). Visual texture analysis. *Y Conference Record of the Symposium on Feature Extraction and Selection in Pattern Recognition*. IEEE.
- Solomon, C., & Breckon, T. (2010). *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in MATLAB*. Wiley-Blackwell.
- Thompson, W., & Shirley, P. (2002). A spatial post-processing algorithm for images of night scenes. *Journal of Graphics Tools*, 7(1), 1–12.
- Umbaugh, S. (2025). *Digital Image Processing and Analysis: Two Volume Set*. Routledge.
- Wiener, N. (1949). *The Interpolation, Extrapolation and Smoothing of Stationary Time Series*. Wiley.

References

- Baxes, G. (1994). *Digital Image Processing: Principles and Applications*. Wiley.
- Blackman, R., & Tukey, J. (1959). *The Measurement of Power Spectra from the Point of View of Communications Engineering*. Dover Publications.
- Burger, W., & Burge, M. (2016). *Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction Using Java* (2 nd ed.). Springer.
- Criffith, A. (1971). Edge detection in simple scenes using a priori information. *IEEE Transactions on Computers*, 22(5), 551–561.
- Dash, L., & Chatterji, B. (1991). Adaptive contrast enhancement and de-enhancement. *Pattern Recognition*, 24(4), 289–302.
- Dhawan, A., Buelloni, G., & Gordon, R. (1986). Enhancement of mammographic features by optimal adaptive neighborhood image processing. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 5(1), 8–15.
- Duda, R., & Hart, P. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. Wiley.
- Gabor, D. (1965). The smoothing and filtering of two-dimensional images. *Y Progress in Biocybernetics* (Vol. 2).
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2007). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2018). *Digital Image Processing Using MATLAB* (3rd ed.). Gatesmark Publishing.
- Gopi, S. (2008). *Digital Image Processing Using MATLAB*. PHI Learning.
- Gordon, R., & Rangayyan, R. (1984). Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptive neighborhoods. *Applied Optics*, 23(4), 560–564. <https://doi.org/10.1364/AO.23.000560>.
- Graham, R. (1962). Snow removal - A noise-stripping process for picture signals. *IRE Transactions on Information Theory*, 8(2), 129–137.
- Jähne, B. (2005). *Digital Image Processing* (6th ed.). Springer.
- Jain, A. (1989). *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall.
- Natheem, A. (2021). *Digital Image Processing Using MATLAB: Zero to Hero Practical Approach with Source Code*. Independently published.
- Parker, J. (2010). *Algorithms for Image Processing and Computer Vision* (2nd ed.). Wiley.

Pratt, W. (2007). *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside* (4th ed.). Wiley-Interscience.

Qidwai, U., & Chen, C. (2013). *Digital Image Processing: An Algorithmic Approach with MATLAB*. CRC Press.

Rosenfeld, A., & Kak, A. (1982). *Digital Picture Processing* (2nd ed.). Academic Press.

Rosenfeld, A., & Troy, E. (1970). Visual texture analysis. *Y Conference Record of the Symposium on Feature Extraction and Selection in Pattern Recognition*. IEEE.

Solomon, C., & Breckon, T. (2010). *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in MATLAB*. Wiley-Blackwell.

Thompson, W., & Shirley, P. (2002). A spatial post-processing algorithm for images of night scenes. *Journal of Graphics Tools*, 7(1), 1–12.

Umbaugh, S. (2025). *Digital Image Processing and Analysis: Two Volume Set*. Routledge.

Wiener, N. (1949). *The Interpolation, Extrapolation and Smoothing of Stationary Time Series*. Wiley.

Отримано редакцією журналу / Received: 26.09.25

Прорецензовано / Revised: 27.09.25

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.25

Valentyna PLESKACH¹, DSc (Econ.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-0552-0972

e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua

Yaroslav KRYVOLAPOV¹, Assist.

ORCID ID: 0000-0003-1151-9337

e-mail: y.kryvolapov@knu.ua

Glib KRYVOLAPOV², Student

ORCID ID: 0000-0002-0853-5881

e-mail: glebyk04@gmail.com

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Kyiv, Ukraine

METHODS AND MEANS OF CREATING SOFTWARE FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING

The article discusses methods and means of creating software for digital image processing that effectively improve the quality of visual data and prepare it for further analysis. The results of the development of the 'Digital Image Processing' application package are presented, which implements a set of algorithms for preliminary and frequency processing, including methods for improving contrast, amplitude and frequency filtering, noise removal and contour selection. Considerable attention is paid to the use of simulation modelling, which allows the generation of deterministic and stochastic images of various structures for testing algorithms. The proposed

approach combines spatio-temporal and spectral methods, which helps to improve the accuracy and reliability of digital processing results. The developments can be used in medical diagnostics, industrial control, scientific research, and machine vision systems.

Keywords: *digital image processing, quality enhancement algorithms, simulation modelling, amplitude and frequency filtering, contour extraction, spectral transformations, fast Fourier transform.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.