Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі підвищення різкості зображення для віддаленої комп’ютерної системи технічного зору

(тема)

Виконав:
студент II курсу, групи СПзм-18-2
Роговець І.С.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
123 – Комп’ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо – професійна або освітньо – наукова)

Освітня програма
Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Смеляков К.С.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо – професійна або освітньо – наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
"____" _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Роговець Ірині Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі підвищення різкості зображення для віддаленої комп'ютерної системи технічного зору

затверджена наказом по університету від "30" березня 2020 р. № 43Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 18 травня 2020р.

3. Вхідні дані до роботи

1) наукова література на тему систем технічного зору
2) наукова література на тему обробки цифрових зображень
3) наукова література на тему фільтру нерізкого маскування
4) особливості сучасних моделей підвищення різкості зображення
5) особливості організації попередньої обробки зображень

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1) аналіз предметної області
2) базові моделі обробки зображень
3) просторові та частотні фільтри підвищення різкості зображення
4) фільтр нерізкого маскування
5) висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайди презентації

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури на тему систем технічного	30.03.20-05.04.20	
	зору		
2	Огляд літератури на тему обробки цифрових	05.04.20-11.04.20	
	зображень		
3	Розгляд моделей фільтрації цифрових	11.04.20-18.04.20	
	зображень		
4	Проведення експерименту зі з модифікованого	18.04.20-01.05.20	
	фільтру нерізкого маскування		
5	Оформлення пояснювальної записки	01.05.20-13.05.20	
6	Подання атестаційної роботи керівникові	13.05.20-14.05.20	
	та її попередній захист		
7	Подання атестаційної роботи на рецензування	15.05.20-15.05.20	

Дата видачі завдання 30 березня 2020р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ д.т.н., проф. Смеляков К.С.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 80 с., 22 рис., 2 табл., 30 джерел.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ, РІЗКІСТЬ ЗОБРАЖЕННЯ, ПРОСТОРОВІ ФІЛЬТРИ ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ, ЧАСТОТНІ ФІЛЬТРИ ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ.

Метою роботи є вивчення та розробка ефективної моделі підвищення різкості зображення для віддалених коп’ютерних систем технічного зору. Основними особливостями даної роботи є наукове дослідження моделей підвищення різкості зображення шляхом попередньої обробки зображень та аналіз найпопулярніших моделей фільтрації зображень. Досліджено принцпи функіювання, параметри формування та обробки зображень в системах технічного зору. Дана робота може слугувати посібником для вивчення моделей підвищення різкості зображення для систем технічного зору

У ході виконання атестаційної роботи досліджені існуючі моделі та алгоритми обробки зображень, їх переваги та недоліки.

Для вирішення поставленого завдання використовується наукова література доступна в мережі Інтернет.

ABSTRACT

Master’s thesis: 80 pages, 22 figures, 2 tables, 30 sources.

TECHNICAL VISION SYSTEMS, IMAGE SHARPNESS, SPATIAL SHARPNESS FILTERS, FREQUENCY SHARPNESS FILTERS IMAGE PROCESSING.

The major goal of this thesis is investigating and develop an effective model for increasing image sharpness for remote computer systems of technical vision. The crucial features of this work are scientific research of image sharpness enhancement models by pre-processing images and analysis of the most popular image filtering models. This work investigates the main functions and characteristic of image formation and processing in technical vision systems. This work can be used as a guide for the study of neural networks, moreover convolutional neural networks

During the performance of this work, the existing models and algorithms of image processing, their advantages and disadvantages were studied.

In order to resolve current issue the scientific literature which is available on Inthernt is used in this work.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ФНЧ – фільт низьких частот

ФВЧ – фільтр високих частот

СТЗ – система технічного зору

BLP – Butterworth lowpass filter (низькочастотнbq фільтр Баттерворта)

GUSM – generalized unsharp mask filter

IQA – image quality assessmen

LF – Laplasin filter

SSIM – structural similarity

TUSM – traditional unsharp mask filter

VIFP – visual information fidelity in the pixel domain

ВСТУП

Технічний зір − є одним із найбільш перспективних методів автоматизації будь-яких дій із застосуванням комп'ютерних технологій і робототехніки. У найзагальнішому вигляді системи технічного зору мають на увазі перетворення даних, що надходять з пристроїв захоплення зображення, з виконанням подальших операцій на основі цих даних.

Сприйняття людини надзвичайно чутливе до деталей зображення. Оскільки цифрові зображення складаються в основному з високочастотних компонентів, якість зображення може бути сильно пошкоджено, якщо високі частоти послаблюються або усуваються.

Різкість зображення означає будь-яку техніку поліпшення, що підвищує візуальну якість деталей зображення. Ця технологія широко використовується в фотографії та поліграфічній промисловості для поліпшення різкості цифрових зображеннях. В взагалі, існує багато причин для підвищення різкості зображення, включаючи подолання ефекту розмиття за допомогою камери та іншого обладнання, що привертає увагу до конкретної області зображення і поліпшення розбірливості.

Цифрові зображення мають різні межі завдяки характеру об'єктів, поміщених в захоплену сцену. Зокрема, контури, межі і локальні деталі є конкретними компоненти зображення, які містять важливу інформацію, що має суттєве значення для спостерігача і видимою якістю зображення. Однак, така інформація може не здаватися чіткою в силу певних неминучі обмеження обладнання для отримання зображення. Таким чином, цифрове зображення погіршується в якості і виглядає розмитим.

Актуальність теми роботи зумовлена зростанням можливостей сучасних технічних засобів отримання цифрових зображень та необхідністю підвищення ефективності їх обробки для подальшої роботі з ними. Тому, треба приділити підвищенню різкості зображення більшу увагу, але беручи до уваги,

що сьогодні набуває все більшої популярності системи технічного зору, як у повсякденному житті так і в промисловості, слідує розглядати цю проблему у системах технічного зору.

Метою цієї роботи є дослідження принцпів функіювання, параметрів формування та обробки зображень в системах технічного зору, проведено аналіз теоретичних аспектів та ефективності вже існуючих моделей фільтрації підвищення різкості зображення, що є необхідним для побудови ефективного алгоритму модифікації обраної моделі.

Ціллю даної роботи є розробка ефективної моделі моделі фільтрації зображення.

Об’єкт дослідження – моделі фільтрації зображень для для підвищення різкості.

Предмет дослідження – моделі та технології обробки цифрових зображень.

Дана робота представляє собою ознайомлення і аналіз передових технології нашого часу.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальні принципи функціонування систем технічного зору

Технічний зір − є одним із найбільш перспективних методів автоматизації будь-яких дій із застосуванням комп’ютерних технологій і робототехніки. У найзагальнішому вигляді системи технічного зору мають на увазі перетворення даних, що надходять з пристроїв захоплення зображення, з виконанням подальших операцій на основі цих даних. Далі ми будемо використовувати узагальнюючий термін «технічний зір» як термін, найбільш повно охоплюючий коло інженерних технологій, методів і алгоритмів, пов’язаних із завданням інтерпретації сцени спостереження за її двовимірними проекціями (зображеннями), а також як практичне використання результатів цієї інтерпретації. Проблематика технічного зору настільки приваблива для сучасних дослідників з тієї причини, що апаратні можливості, що надаються в даній області останніми досягненнями електроніки та обчислювальної техніки, досягли такого рівня, що вони вже багато в чому наближаються до "технічних характеристик" людини.

Оцінка можливості вирішувати завдання сприйняття зображень повинна здійснюватися на основі аналізу не тільки параметрів і характеристик оптичного зображення E, але і всіх елементів системи технічного зору, в тому числі параметрів і характеристик приймача зображення, оскільки останній в ряді випадків визначає граничні можливості всієї системи в цілому. На рисунку 1.1 представлена узагальнена схема системи технічного зору.

Система технічного зору являє собою пристрій, що включає до свого складу як оптичні, так і електронні ланки. Із загальної теорії інформаційних вимірювальних систем видно, що системи технічного зору можна будувати на основі реалізації завдань, призначених для їх вирішення. Тому, перш ніж приступити до розгляду структури побудови, слід провести класифікацію

систем технічного зору по ряду характеризуючих їх ознак:

а) по виду вхідного інформаційного сигналу;

б) за вимірюваною СТЗ фізичної величини;

в) за ступенем участі оператора в обслуговуванні СТЗ;

г) за способами сканування зображення;

д) за способами формування, аналізу та обробки зображення та інші.

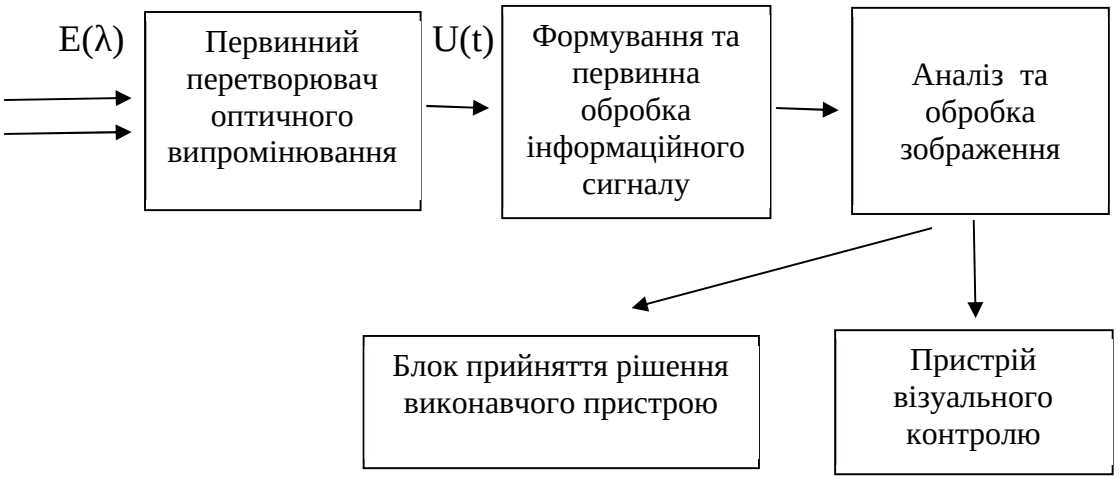


Рисунок 1.1 – Схема функціонування СТЗ

Так, розглядаючи класифікацію СТЗ по виду вхідного інформаційного сигналу, можна сказати, що вона також залежить відряду параметрів самого оптичного зображення E(λ), таких як:

а) лінійні координати об’єктів на площині зображення;

б) координати тривимірного простору;

в) тимчасова характеристика;

г) спектральний діапазон оптичного випромінювання;

д) діапазон щільності потужності потоку оптичного випромінювання та інше.

На практиці все це різноманіття класифікацій СТЗ, можна звести до чотирьох функціональних завданням, виконуваним цими системами, – виявлення, розпізнавання, стеження і вимірювання значень фізичних величин.

Розглядаючи загальні принципи роботи СТЗ, можна відзначити, що

незалежно від вирішуваних ними завдань зображення від об’єкта спостереження через оптичний блок передається на первинний перетворювач оптичного випромінювання, в якості якого виступає приймач зображення.

Електричний сигнал, сформований цим приймачем зображення за допомогою системи сканування, посилюється, причому в процесі посилення здійснюється його первинна обробка – противошумовая корекція. Надалі цей інформаційний сигнал або використовується в аналоговому вигляді в СТЗ, або перетворюється в цифровий сигнал відповідно до теореми відліків Котельникова.

Слід мати на увазі, що при перетворенні сигналу з аналогового в цифровий безповоротно зникає частина інформації про об’єкт спостереження внаслідок тимчасової дискретизації і квантування сигналу за рівнем. Крім того, треба пам’ятати, що амплітудні значення цифрового сигналу для одного і того ж елемента будуть відрізнятися від вихідного аналогового внаслідок помилок квантування.

Сформований інформаційний сигнал в аналоговій або цифровій формі подається на пристрій аналізу та обробки зображення, в якому здійснюється виконання завдання, що стоїть перед даною системою технічного зору процес аналізу і обробки зображення найчастіше здійснюється під контролем оператора.

Тому невід’ємною частиною СТЗ є пристрій візуального контролю-синтезуючий пристрій. Оператор, під час роботи СТЗ, може впливати на процеси аналізу та обробки зображення або на основі отриманої ним інформації давати команди для організації керуючих сигналів, що приводять в дію виконавчі механізми, що здійснюють цілеспрямований вплив.

В даний час процеси обробки та аналізу інформаційного сигналу в основному здійснюються в цифровій формі на електронно-обчислювальних комплексах, тобто в комп’ютер. Тому на практиці часто плутають два поняття комп’ютерна графіка і обробка зображення.

У першому випадку, в комп’ютерній графіці, прагнуть досягти

зображення тривимірних сцен за допомогою програмних засобів комп’ютера, в той час як при обробці зображень намагаються реконструювати тривимірну сцену з вихідного зображення. Так, в комп’ютерній графіку ми починаємо з відомостей про форму і ознаки об’єкта і продовжуємо роботу до тих пір, поки не отримаємо двомірне зображення. У цьому сенсі обробка зображень виконує операцію, зворотну операції комп’ютерної графіки.

Тому, для того щоб володіти знаннями про обробку зображення або про комп’ютерну ми, по суті, повинні виходити з одних і тих же положень, тобто нам необхідно знати взаємодію освітлення сцени і об’єктів спостереження і як тривимірна сцен проектується на площину зображення.

Всі принципи функціонування СТЗ, з точки зору їх побудови, можна розділити на двапокоління.

Перше покоління - системи технічного зору, оснащені телевізійної передавальної камерою або веб-камерою і персональним комп’ютером. Такі системи працюють по бінарному принципом, тобто представляють всі точки оптичного зображення як світлі і темні. Це подання накладає жорсткі вимоги на умови освітлення об’єктів спостереження, оскільки зображення має бути контрастним.

Друге покоління - системи технічного зору, здатні аналізувати рівні освітленості, тобто правильно визначати межі деталей і деякі істотні особливості об’єктів спостереження. При цьому обсяг інформації, що надходить на обробку, істотно зростає, що призводить до збільшення часу обробки.

В даний час в системах технічного зору широке поширення знайшли телевізійні передавальні камери чорно-білого зображення. Однак слід зауважити, що застосування кольорових телевізійних камер призводить до підвищення інформативності зображення і в ряді випадків спрощує обробку і аналіз спостережуваних зображень, а також зменшує час, відведений на ці операції.

Для зменшення часу, відведеного на обробку зображень, цей процес

ділиться на два етапу, на попередню-первинну і вторинну обробку. При цьому в більшості випадків здійснюється фіксація і представлення зображення у вигляді характерних точок, тобто. визначення центру об’єкта спостереження, знаходження його найбільш важливих характерних особливостей: кутів, відстаней від центру до краю і т. д. Таким чином, на першому етапі здійснюється безпосередня обробка та подання інформації у вигляд, зручний для подальших стандартних перетворень, які в подальшому виконують на комп’ютері.

Попередня обробка враховує специфіку об’єкта, тому пристрій первинної обробки, як правило, є спеціалізованим, що реалізує необхідні алгоритми.

Пристрій вторинної обробки здійснює вже розпізнавання зображення, тобто по його характерними ознаками визначає, до якого класу належит спостережуваний об’єкт або досліджуване фізичне явище.

1.2 Основні параметри і характеристика відтворення зображення в системах технічного зору

До основних системних параметрів і характеристик відносяться такі, за якими оцінюється придатність тієї чи іншої структури побудови СТЗ для вирішення поставленої перед нею завдання. Однак серед цієї безлічі параметрів і характеристик, за якими здійснюється їх порівняльний аналіз, можна виділити найбільш характерні, тобто визначальні. До них відноситися:

а) роздільна здатність системи;

б) частотно-контрастна характеристика;

в) енергетична (світлова) характеристика;

г) порогова чутливість;

д) динамічний діапазон;

е) наскрізна характеристика спектральної чутливості;

ж) спектральний діапазон чутливості системи.

Роздільна здатність системи оцінюється максимальним числом пар чорно-білих ліній на один міліметр, відтворюваних на зображенні. Тому оцінка якості системи технічного зору полягає у визначенні її здатності дозволяти на зображенні штрихові світи з різними просторовими частотами при однаковій освітленості вхідного зіниці системи. При оцінці системи технічного зору По роздільній здатності слід пам’ятати, що вона залежить від багатьох причин, таких як: роздільна здатність об’єктива, роздільна здатність приймача зображення, апертурних спотворень, смуга частот посилення інформаційного сигналу до перетворення його в цифрову форму та ін.

Найбільш інформаційною характеристикою, на основі якої можна зіставляти можливості СТЗ з різними типами приймачів зображення і оцінювати вплив різних ланок передачі зображення, є частотно-контрастна характеристика (ЧКХ).

Частотно-контрастну характеристику системи можна визначити двома способами.

У першому-вона визначається знаходженням перетворення Фур’є функції R (x), що характеризує просторовий розподіл чутливості приймача зображення:

$$\text{ЧКХ} = \frac{|R(f_n)|}{|R(0)|} \tag{1.1}$$

$$\text{де } R(f_n) = \int_{-\infty}^{\infty} R(x) e^{j2\pi f_{nz}} d$$

У другому-ЧКХ визначається як реакція системи на вхідний сигнал з певною просторовою частотою і синусоїдальним розподілом освітленості, нормалізованої до реакції на сигнал з нульовою просторовою частотою.

1.3 Формування та обробка зображення в системах технічного зору

Під формуванням зображення розуміється процес отримання інформаційного сигналу в аналоговому або в цифровому вигляді, в пам'яті ЕОМ для подальшої його обробки.

Процес перетворення інформації в системах технічного зору включає в себе побудову двовимірного оптичного зображення тривимірних предметів, розташованих в досліджуваному просторі об'єктів спостереження. При цьому якість оптичного зображення визначається низкою факторів і не має єдиної, узагальненої кількісної оцінки. Розглянемо найбільш істотні для перетворення характеристики оптичного зображення:

а) енергетична освітленість $E_{\text{евх}}$ в площині оптичного зображення на об'єктиві;

б) відносний отвір об'єктива, що визначається відношенням діаметра його вхідної зіниці до фокусної відстані об'єктива;

в) лінійний масштаб зображення;

г) лінійні розміри об'єкта і зображення відповідно;

д) чіткість оптичного зображення характеризується якістю відтворення дрібних деталей і визначається роздільною здатністю об'єктива;

е) аберації-спотворення зображення, що виникають в оптичній системі і призводять до тому, що точка відтворюється у вигляді деякого гуртка і дві близько розташовані світлі точки на об'єкті спостереження зливаються в одну на зображення. Мінімальний відстань між двома світлими точками, на якому вони ще відтворюються окремо, називається дозволеним відстанню, а величина, зворотна йому, – роздільною здатністю об'єктива, оцінюваної максимальним числом пар чорно-білих ліній на 1 мм, відтворюваних на зображенні;

ж) глибина різкості-глибина відтвореного простору, для якого максимально допустимий діаметр гуртка розмиття, рівний лінійному розміру одного елемента розкладання зображення;

з) висота зображення на світлочутливому шарі (мішені) приймача зображення і число рядків розкладання цього зображення. Для кожного типу приймача зображення висота зображення задана і залишається постійною, як і число рядків. В цих умовах глибина різкості і відносний отвір об’єктива однозначно пов’язані і визначаються тільки квадратом лінійного масштабу зображення на світлочутливій поверхні (мішені) приймача зображення;

и) Геометричні (координатні) спотворення, створювані об’єктивом, зазвичай зневажливо малі, але можуть виявитися помітними при деяких порушеннях нормальних умов оптичної проекції об’єкта спостереження;

к) спотворення перспективи спостерігаються тоді, коли одне і те ж обмежене простір розглядається під різними кутами зору. Так, у міру видалення предметів від об’єктива зменшується масштаб їх зображення, віддалений простір як би стискається. У цьому просторі дві паралельні лінії, що йдуть від спостерігача, сходяться в одну точку. Така точка називається точкою сходу, а сама трансформація простору на зображенні називається перспективою. Причому точка сходу тим ближче, чим більше кут зору системи.

У системах технічного зору всі перераховані вище спотворення повинні бути жорстко регламентовані, оскільки необхідна документальна їх точність, зокрема вимірювальна система. Кількісне нормування параметрів оптичних зображень, к яким відноситься і зображення на екрані синтезуючого пристрою, може бути зроблено лише з урахуванням параметрів і характеристик зору. Разом з тим слід розрізняти обробку зображень, призначених для зорового сприйняття, і обробку в пристроях автоматичного аналізу. В останньому випадку на перший план виходять завдання виділення ознак, формування даних про кількісні характеристики та ін.

Обробку зображення, що проводиться з метою поліпшення його зорового сприйняття, ілюструє рисунок. 1.2 [1, с. 49].

Головне завдання обробки в цьому випадку полягає в підвищенні його якості, оцінюваного візуально.

На рисунку 1.3 представлена загальна структурна схема комплексного алгоритму обробки і аналізу зображень. У складі цього алгоритму є модулі управління обчислювальним процесом. Так, в залежності від виду розв'язуваних задач структура комплексного алгоритму може змінюватися. При виконанні кожного з етапів обробки та аналізу зображення інформація надходить в блок управління, в якому формується план наступних процедур [8,9].

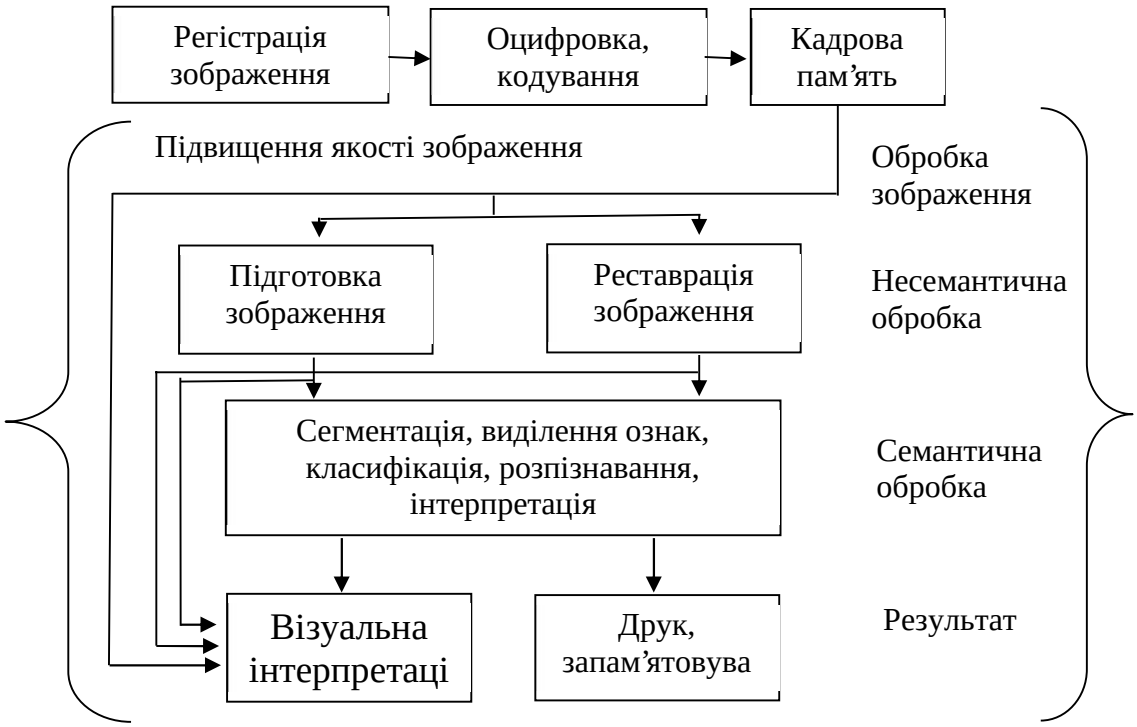


Рисунок 1.2 − Класифікація технічних засобів обробки зображення

Окрім блоку управління в пам'яті обчислювальної системи зберігається база даних, що містить необхідні дані і різні процедури обробки інформації. Відповідно до прийнятих рішень з вихідної бази даних формується робоча база, безпосередньо використовувана при обробці і аналізі зображень. Реалізувати подібний комплексний алгоритм досить важко, оскільки однією з причин є складність формалізації та обчислень безлічі приватних критеріїв ефективності на різних етапах обчислень, на основі яких приймаються рішення про подальші дії з обробки та аналізу зображень.

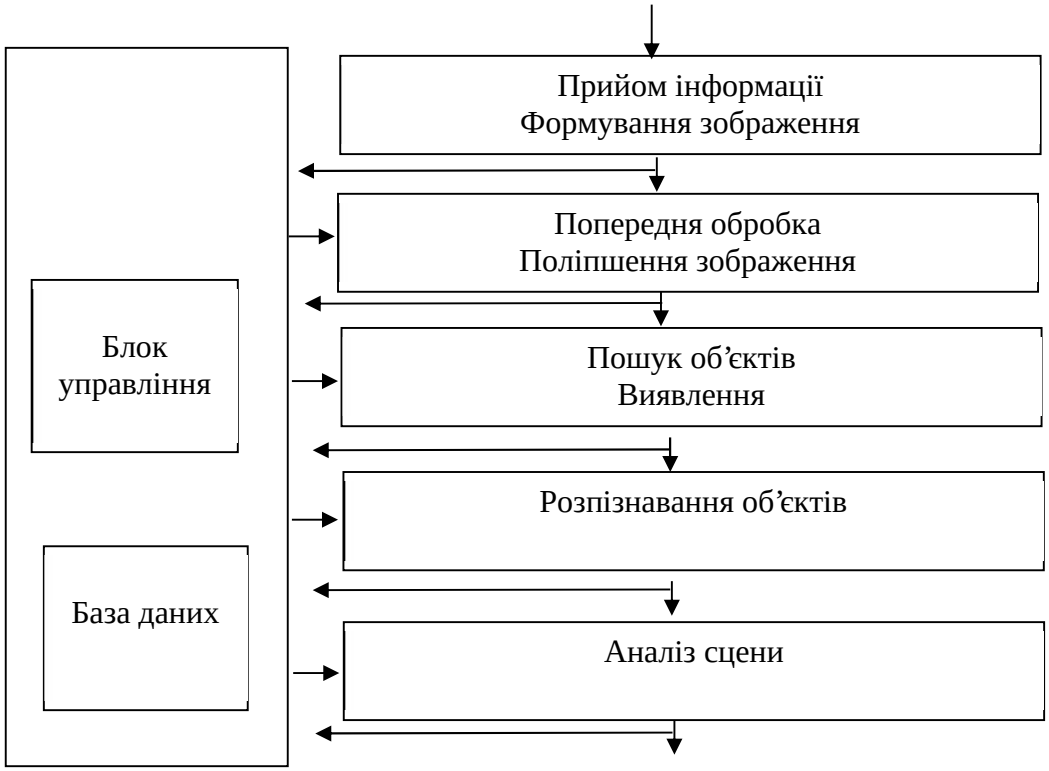


Рисунок 1.3 − Структурна схема комплексного алгоритму обробки та аналізу зображення

Обробка зображення завершується виділенням тих ознак, які несуть найбільше інформаційне навантаження.

в координатній або частотній області;

а) з урахуванням або без урахування змісту зображення;

б) з використанням лінійних або нелінійних алгоритмів обробки;

в) з використанням:

1) по елементних операторів-діючих в межах елемента зображення;

2) локальних операторів-діючих в межах окремих вікон в площині зображення;

3) глобальних операторів-діючих в межах всього зображення

В процесі обробки зображення, по суті, проводиться його семантичний аналіз. Вельми ефективні операції, здійснювані з використанням пам’яті, при цьому можливі:

а) корекція геометричних спотворень;

б) перетворення системи координат – ортогональної, полярної та ін.;

в) масштабування зображення;

г) видеоінтерполяція та ін.

Попередня обробка зображення як етап процедури поліпшення зображення є надзвичайно місткою сферою, що включає великий набір елементарних алгоритмів. Огляд цих алгоритмів міститься нижче. Найбільш поширеними з них є:

а) нелінійні перетворення сигналів зображення з метою узгодження амплітудних характеристик окремих пристроїв, що входять до складу СТЗ;

б) корекція сигналу по полю зображення для вирівнювання неоднорідностей, викликаних дефектами освітлення і чутливості перетворення зображення;

в) операція згортання в просторовій області з локальними операторами вікон,

г) операторами згладжування, усереднення та ін.;

д) фільтрація в просторово-частотній області;

е) інтерполяція в поле зображення;

ж)тимчасове підсумовування зображень;

з) сегментація зображення та ін.

Обробка зображень, призначених для автоматизованого аналізу в системах технічного зору, відображає закономірності взаємодії потоку випромінювання від об’єкта з окремими ділянками спостережуваного оптичного зображення з метою вилучення кількісної інформації про досліджуваний об’єкт. В цьому випадку обсяг інформації, підлягає аналізу, настільки великий, що візуальні методи вивчення реєстрованої сцени не можуть задовольнити не тільки дослідників, а й самі мінімальні потреби для вирішення практичних завдань. Тому для вирішення таких завдань використовують спектрозональні (багатозональні) системи побудови з просторовим суміщенням реєстрованих зображення.

Перетворення зображень, призначених для автоматизованого аналізу, як

правило, включає процедури запису їх в пам’ять, обробку з затримкою в часі і визначення значущих їх параметрів, тобто здійснення ознакового опису. В процесі автоматичної обробки зображення досліджуваного об’єкта формується список параметрів, часто в матричній формі або у вигляді стилізованого зображення – напівавтоматичний аналіз. Список значущих параметрів формується в залежності від конкретних прикладних завдань, тому нижче будуть наведені лише деякі приклади.

Аналіз численних джерел інформації дозволяє виділити найбільш часто використовувані процедури обробки:

а) операцію згортки в просторовій області;

б) фільтрацію в просторово-частотній області;

в) шейдінг-корекцію (вирівнювання яскравості по полю зображення);

б) нелінійне амплітудне перетворення сигналу зображення;

в) операцію зіставлення з порогом;

г) бінаризацію зображення;

д) рангову фільтрацію;

е) локальні процедури усереднення;

ж) градієнтні перетворення;

з) інтерполяцію зображень в просторовій область;

и) інверсію зображення;

к) аналіз логічних зв’язків у зображенні;

л) підсумовування і віднімання зображень;

м) пошук екстремумів в зображенні.

В окрему групу можна виділити геометричні перетворення зображень: просторовий зсув, масштабні перетворення (збільшення або зменшення розміру зображення) і обертання, а до процедур функціональних перетворень відносяться: Фур’є перетворення, косинусне і синусне перетворення і перетворення Адамара [1]. Наше завдання полягає в дослідженні моделей обробки та підвищення різкості зображення для віддалених комп’ютерних систем технічного зору, тому буде доцільно розглянуту більш детально.

2 БАЗОВІ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ

2.1 Просторові фільтри підвищення різкості

Головна мета підвищення різкості полягає в тому, щоб підкреслити яскравісні переходи. Підвищення різкості зображень використовується досить широко - від цифрового друку і медичної інтроскопії до технічного контролю в промисловості і систем автоматичного наведення у військовій сфері. Підвищення різкості може бути досягнуто просторовим диференціюванням. Це дійсно так, і в цьому розділі будуть обговорюватися різні способи завдання і використання операторів підвищення різкості шляхом чисельного диференціювання. З принципової точки зору величина відгуку оператора похідної в точці зображення пропорційна ступеня розривності зображення в даній точці. Таким чином, диференціювання зображення дозволяє посилити перепади і інші розриви (наприклад шуми) і не підкреслювати області з повільними змінами рівнів яскравостей.

2.1.1. Основа

У наступних двох розділах будуть розглянуті фільтри підвищення різкості, засновані на першій і другій похідних. Однак перш ніж перейти до безпосереднього обговорення, необхідно зупинитися на деяких фундаментальних властивостях цих похідних в контексті цифрових методів. Для простоти викладу спочатку зупинимося на одновимірних похідних. Зокрема, представляє інтерес поведінка цих похідних на областях постійної яскравості, на початку і в кінці розривів (розриви у вигляді сходинок і ділянок зміни яскравості – схилів), а також протягом самих схилів. Ці типи розривів можуть використовуватися для опису шумових сплесків, ліній і контурів на зображенні. Також важливим є поведінка похідної протягом переходу від

початку до закінчення зазначених особливостей. Похідні дискретної функції визначаються в термінах різниць. Ці різниці можна задати різними способами, однак ми будемо керуватися наступним. Перша похідна повинна бути: (1) дорівнює нулю на областях з постійним рівнем яскравості; (2) ненульовий на початку і в кінці сходинки або схилу яскравості; (3) ненульовий на схилах яскравості. Аналогічно друга похідна повинна бути: (1) рівною нулю на плоских ділянках; (2) ненульовий на початку і в кінці сходинки або схилу яскравості; (3) рівною нулю на схилах постійної крутизни. Так як ми оперуємо обмеженими чисельними значеннями, максимальне значення зміни яскравості також звичайно, а найкоротша відстань, на якому ця зміна може відбуватися, є відстань між сусідніми пікселями. Перша похідна одновимірної функції f (x) визначається як різниця значень сусідніх елементів:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x) \tag{2.1}$$

Тут використано запис у вигляді приватної похідної для того, щоб зберегти ті ж позначення у випадку двох змінних f(x, y), де доведеться мати справу з приватними похідними за двома просторовими осями. Використання приватної похідної не змінює суті розгляду. Ясно, що ∂f / ∂x = df / dx, коли у функції є тільки одна змінна; те ж вірно в разі другої похідної. Друга похідна визначається як різниця сусідніх значень першої похідної:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x) \tag{2.2}$$

Легко перевірити, що обидва даних визначення задовольняють сформульованим раніше умовам щодо похідних першого і другого порядків. Щоб проілюструвати це, а також розглянути основні подібності і відмінності між похідними першого і другого порядків в контексті обробки зображень, розглянемо приклад на рисунку 3.36. На рисунку 3.36 (б) (в центрі малюнка)

показана ділянка рядка зображення (профіль яскравості). Числа в квадратиках суть значення яскравість елементів рядка зображення, які відзначені чорними крапками на рисунку 2.1 (а). Для візуального зручності додана пунктирна лінія, що з’єднує ці точки. Як видно, на ділянці рядка містяться три ділянки постійної яскравості, ділянка схилу і яскравісна сходинка. Гуртки показують початок або кінець яскравісних переходів. Перша і друга похідні, обчислені на основі даних вище двох визначень, наведені нижче рядка зображення на рисунку 3.36(б), а також у вигляді графіків на рисунку 3.36 (в). При обчисленні першої похідної в точці x значення в даній точці віднімалося з значення в наступній точці, так що це операція з «попереднім переглядом». Аналогічно для обчислення другої похідної в точці x використовувалися значення в попередній і наступній точках. Щоб відволіктися від питання виходу попередньої або наступної точки за межі ділянки рядка, значення похідних на рисунку 2.1 наведені лише від другого до передостаннього елемента.

Розглянемо поведінку першої та другої похідних при русі вздовж профілю зліва направо. На початку знаходиться область з постійною яскравістю, на якій, як видно на рисунку 3.36 (б) і (в), обидві похідні дорівнюють нулю, значить, для обох виконується умова (1). Потім йде схил яскравості, за яким слідують майданчик і сходинка. Відзначимо, що перша похідна відмінна від нуля на схилі і на сходинці; аналогічно друга похідна відмінна від нуля на початку і в кінці як схилу, так і сходинки; таким чином, властивість (2) задовольняється для обох похідних. Нарешті, властивість (3) також виконується для обох похідних, оскільки на схилі перша похідна не дорівнює нулю, а друга дорівнює нулю. Зауважимо, що знак другої похідної змінюється на початку і в кінці сходинки або схилу. Дійсно, на рисунку 3.36 (в) видно, що лінія, що з’єднує два значення похідних на ділянці ступінчастого переходу, в середині між екстремумами перетинає горизонтальну вісь. Це властивість перетину нульового рівня дуже корисно для локалізації контурів, як буде показано в главі 10. На цифрових зображеннях Контурні переходи

часто виглядають як схили яркостей, на яких перша похідна буде діагностувати в результаті широкі контури, оскільки вона відмінна від нуля на всьому протязі схилу. Навпаки, друга похідна дасть подвійний контур товщиною в одну лінію і розділений нулями. Звідси можна зробити висновок, що друга похідна підсилює дрібні деталі значно краще, ніж перша, – властивість, ідеально підходить для підвищення різкості зображень. Також, як буде показано далі в цьому розділі, другу похідну значно легше реалізувати, ніж першу; так що спочатку наша увага буде сконцентрована на других похідних.

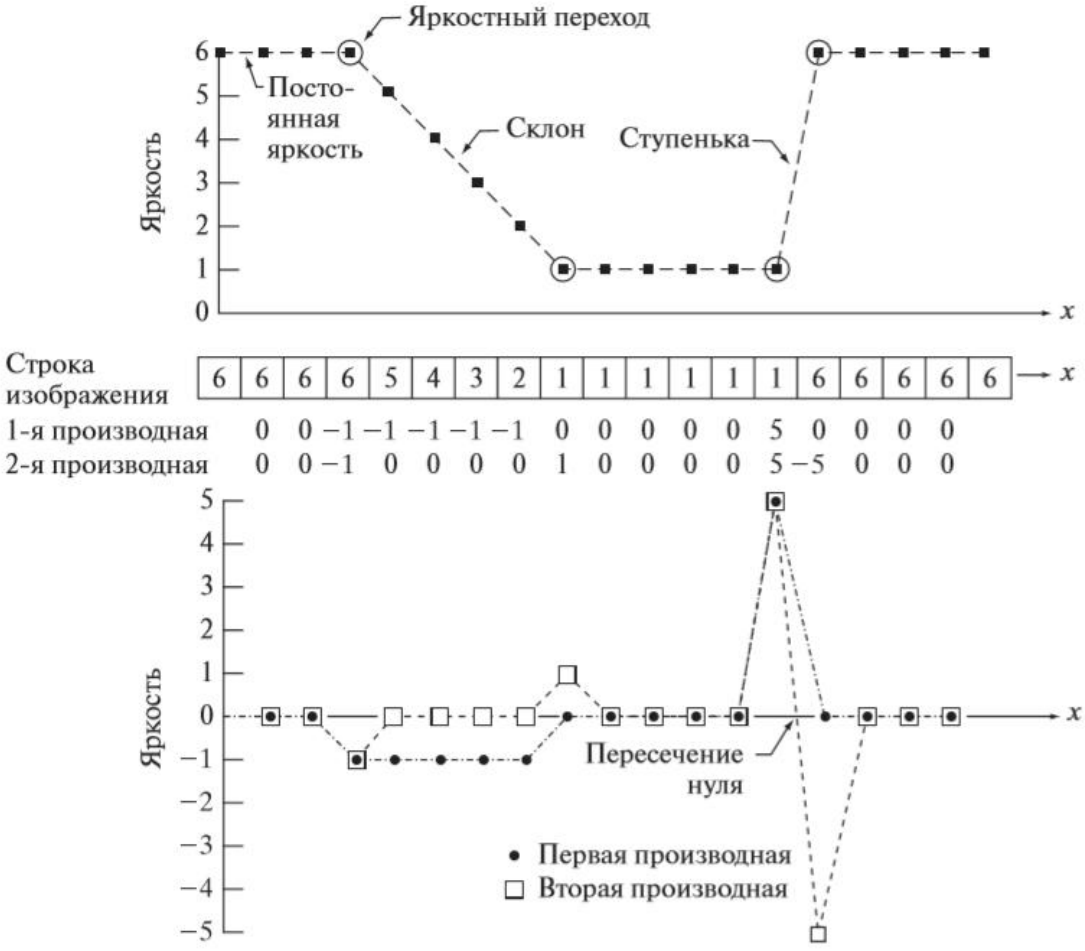


Рисунок 2.1 – Ілюстрація першої і другої похідних одновимірної дискретної функції, що представляє собою ділянку горизонтального профілю яскравості деякого зображення.

2.1.2 Підвищення різкості зображень з використанням других похідних: лапласіан

В даному розділі ми розглянемо застосування двовимірної другої похідної в задачах підвищення різкості зображень. Ми повернемося до розгляду другої похідної, де вона буде використовуватися для сегментації зображень. Підхід зводиться до вибору дискретного формулювання другої похідної і до подальшої побудови маски фільтра, заснованої на даному формулюванні. Розглядатися будуть ізотропні фільтри, відгук яких не залежить від напрямку неоднорідностей на оброблюваному зображенні. Іншими словами, ізотропні фільтри є інваріантними до повороту в тому сенсі, що поворот зображення і подальше застосування фільтра дає той же результат, що і початкове застосування фільтра з подальшим поворотом результату. Можна показати ([Rosenfeld і Kak, 1982]), що найпростішим ізотропним оператором, заснованим на похідних, є лапласіан (оператор Лапласа), який у разі функції двох змінних f(x, y) визначається як:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \tag{2.3}$$

Оскільки похідні будь-якого порядку є лінійними операторами, то, значить, і лапласіан є лінійним оператором. Щоб висловити це рівняння в дискретній формі, використовуємо визначення, виражене рівнянням (2.4), беручи до уваги, що тепер є дві змінні. Для приватної другої похідної по x буде використовуватися наступна формула:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y), \tag{2.4}$$

і аналогічно для похідної по y:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y), \quad (2.5)$$

Таким чином, з попередніх трьох рівнянь випливає, що дискретне формулювання двовимірного лапласіана двох змінних буде:

$$\nabla^2 f(x,y) = f(x+1,y) + f(x-1,y) - f(x,y+1) - 4f(x,y) \quad (2.6)$$

Це рівняння може бути реалізовано за допомогою маски фільтра, представленої на рисунку 2.2 (а), яке дає ізотропний результат для поворотів на кути, кратні 90°. Способи реалізації такі ж, як для лінійних згладжують фільтрів. Тут просто використовуються інші значення коефіцієнтів. Діагональні напрямки можуть бути включені в формулу дискретного лапласіана додаванням ще двох членів-по одному для кожного з діагональних напрямків. Вид кожного з них такий же, як в рівнянні (2.4) або (2.5), але вказуються координати точок, розташованих по діагоналях. Оскільки кожна діагональна добавка включає член -2f(x, y), то сумарний віднімається з суми член складе –8f (x, y). Маска фільтра, відповідна такому новому визначенню, представлена на рисунку 2.2 (б). Така маска є ізотропною для поворотів на кути, кратні 45°. Дві залишилися маски, показані на рисунку 2.2 (в) і (г), також часто використовуються на практиці. Вони отримані з визначення лапласіана, що є «негативним " по відношенню до того, який використовувався в рівняннях (2.4) і (2.5). По суті, вони дають ідентичний результат, але різниця в знаку повинна враховуватися при комбінації – операцією додавання або віднімання – зображення, відфільтрованого лапласіаном, з іншим зображенням.

Оскільки оператор Лапласа по суті є другою похідною, його застосування підкреслює розриви рівнів яскравостей на зображенні і пригнічує області зі слабкими змінами яскравостей. Це призводить до отримання зображення, що містить сіруваті лінії на місці контурів і інших

розривів, накладені на темний фон без особливостей. Але фон можна "відновити", зберігши при цьому ефект підвищення різкості, що досягається лапласіаном. Для цього достатньо додати зображення-лапласіан до вихідного зображення. Як було сказано в попередньому абзаці, при цьому необхідно пам’ятати, яке з визначень лапласіана було використано. Якщо використовувалося визначення, що використовує негативні центральні коефіцієнти, тоді для отримання ефекту підвищення різкості зображення-лапласіан слід віднімати, а не додавати.

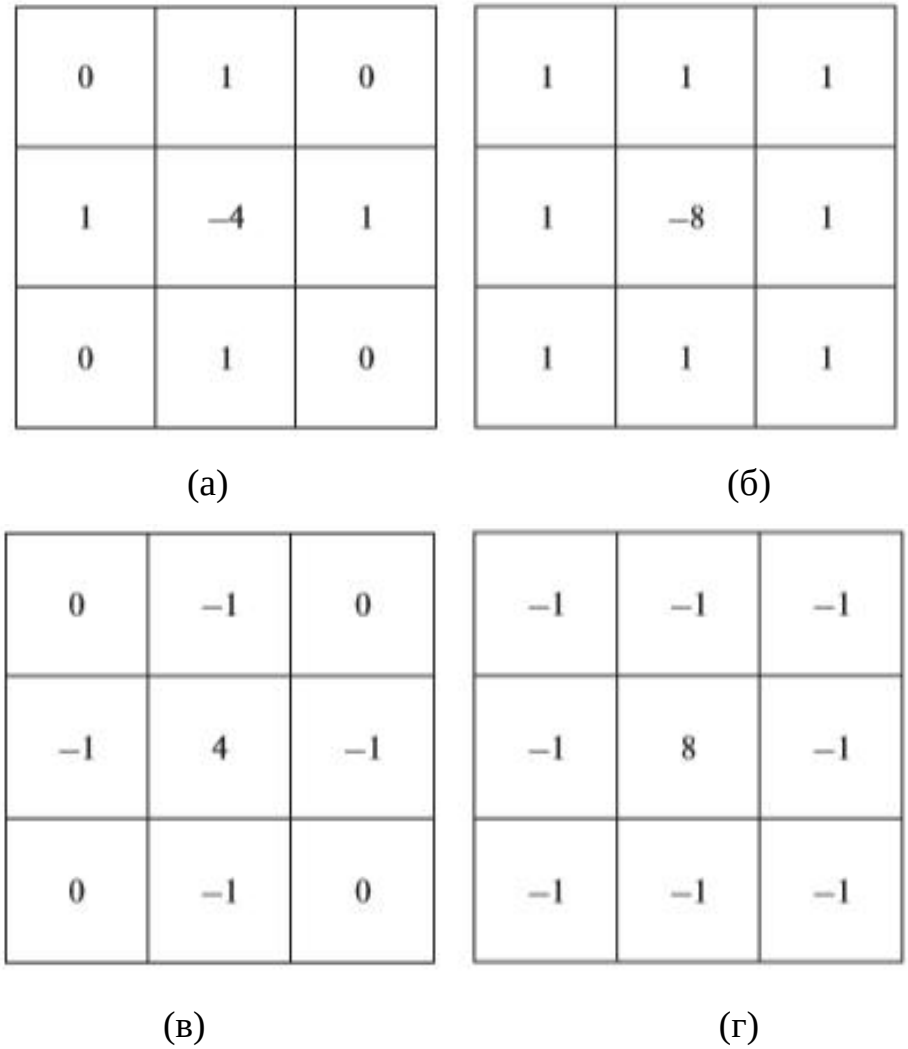


Рисунок 2.2 – (а) Маска фільтра, яка використовується для реалізації рівняння (2.6). (б) Маска, яка використовується для реалізації розширення цього рівняння шляхом додавання діагональних членів. (в) І (г) дві інші реалізації лапласіана, часто зустрічаються на практиці.

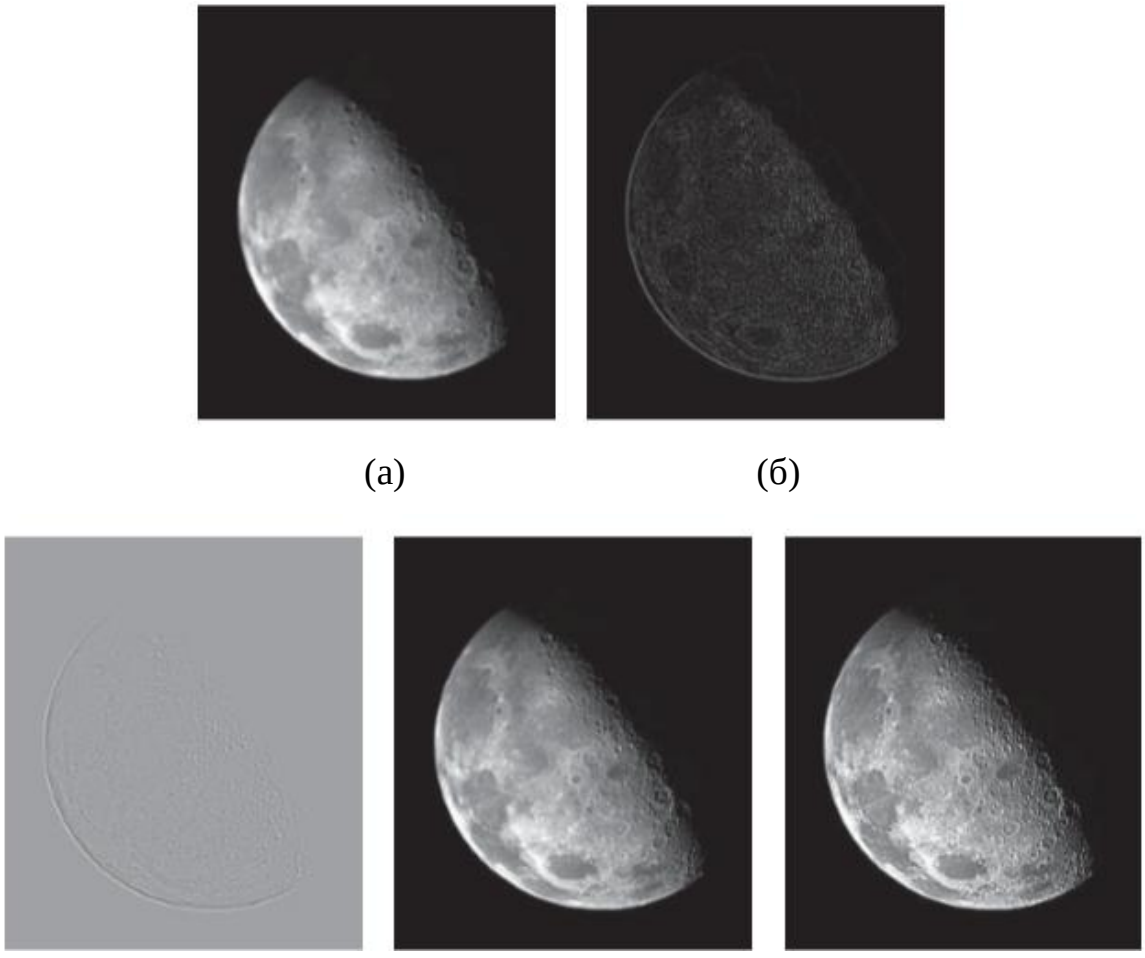
Таким чином, узагальнений алгоритм використання лапласіана для підвищення різкості зображень зводиться до наступного:

$$g(x,y) = f(x,y) + c[\nabla^2 f(x,y) \quad (2.7)$$

де f (x, y) і g(x, y) – вихідне зображення і зображення з підвищеною різкістю. Константа c = -1, якщо використана маска фільтра лапласіана на рисунку 3.37 (а) або (б), і c = 1, якщо використаний один з решти двох фільтрів.

Приклад 1. Підвищення різкості зображення за допомогою лапласіана. На рисунку 2.2 (а) представлено злегка нерізке зображення Північного полюса Місяця. На рисунку 2.2 (б) показаний результат фільтрації даного зображення лапласіаном з маскою на рисунку 2.3 (б). Великі області цього зображення є чорними, оскільки лапласіан має як позитивні, так і негативні значення, а всі негативні обрізаються до 0 при відтворенні. Звичайний спосіб перетворити зображення-лапласіан-піддати його градаційної корекції: додати значення його мінімуму до всіх значень пікселів, а потім розтягнути отриманий результат на весь діапазон яскравостей [0, L – 1]. Саме таким чином оброблено зображення на рисунку 2.3 (в). Видно, що основними деталями даного зображення є контури і різкі перепади яскравості різного рівня. Фон, раніше чорний, тепер, внаслідок градаційної корекції, став сірим. Таке сірувате прояв фону є типовим для правильно відкоригованих зображень-лапласіанов. На рисунку 2.3 (г) показаний результат, отриманий з використанням рівняння (2.7) з c = -1. Деталі на цьому зображенні видно значно чистішими і різкими, ніж на вихідному зображенні. Додавання оригінального зображення до лапласіану відновило загальний діапазон зміни яскравості на зображенні, а лапласіан посилив контрасти в місцях розривів яскравості. Кінцевим результатом стало зображення, на якому дрібні деталі поліпшені, а фонові півтони досить добре збережені. Нарешті, на рисунку 2.3 (д) показаний результат, майже повторює попередню процедуру з використанням фільтра на рисунку 2.3 (б). Тут помітно значне підвищення різкості в порівнянні з 2.3 (г).

Це не є несподіваним, оскільки використання фільтра на рисунку 2.2 (б) додає додаткове диференціювання (підвищення різкості) по діагональних напрямках. Результати, подібні представленим на на рисунку 2.3 (г) і (д), зробили лапласіан часто використовуваним інструментом для підвищення різкості цифрових зображень.



(а) (б)

(в) (г) (д)

Рисунок 2.3 – (а) Нерізке зображення Північного полюса Місяця. (б) зображення без масштабування. (в) зображення-лапласіан, піддане градаційної корекції. (г) зображення з підвищеною різкістю при використанні маски на рисунку 2.2 (а). (д) зображення з підвищеною різкістю при використанні маски на рисунку 2.2 (б). (Оригінальне зображення надано агентством NASA)

2.1.3 Нерізке маскування і фільтрація з підйомом високих частот

Процедура, багато років використовується в поліграфії та у видавничій справі для підвищення різкості зображень, полягає у відніманні з зображення його нерізкої (згладженої) копії. Ця процедура, звана нерізким маскуванням, складається з наступних кроків.

Створення нерізкого зображення.

Віднімання нерізкого зображення з вихідного зображення (результуюча різниця називається маска).

Додавання маски до вихідного зображення.

Позначаючи через f x y (,) згладжене зображення, нерізке маскування виражається у формульному вигляді наступним чином. Спочатку формується маска:

$$g_m \quad (x, y) = f(x, y) - \bar{f}(x, y). \tag{2.8}$$

Потім маска із заданою вагою додається до вихідного зображення:

$$g(x, y) = f(x, y) + k\, g_m \quad (x, y), \tag{2.9}$$

де для спільності введений ваговий коефіцієнт k ($k \geq 0$). При $k = 1$ ми отримуємо нерізке маскування, як визначено вище. При $k > 1$ процес називається фільтрацією з підйомом високих частот. Вибір $k < 1$ знижує внесок маски.

На рисунку 2.4 пояснено, як діє нерізке маскування. Графік на рисунку 2.4 (а) можна інтерпретувати як профіль яскравості рядка, що перетинає вертикальний контур на переході від темної до світлої області на зображенні. На рисунку 2.4 (б) показаний результат згладжування, накладений на графік вихідного сигналу (показаний пунктиром) для орієнтиру. Графік на рисунку 2.4 (в) – нерізка маска, отримана відніманням згладженого сигналу з вихідного 12. Порівнюючи цей результат з ділянкою на рисунку 2.1(в), відповідним

схилу на рисунку 2.1 (а), можна відзначити, що нерізка маска.

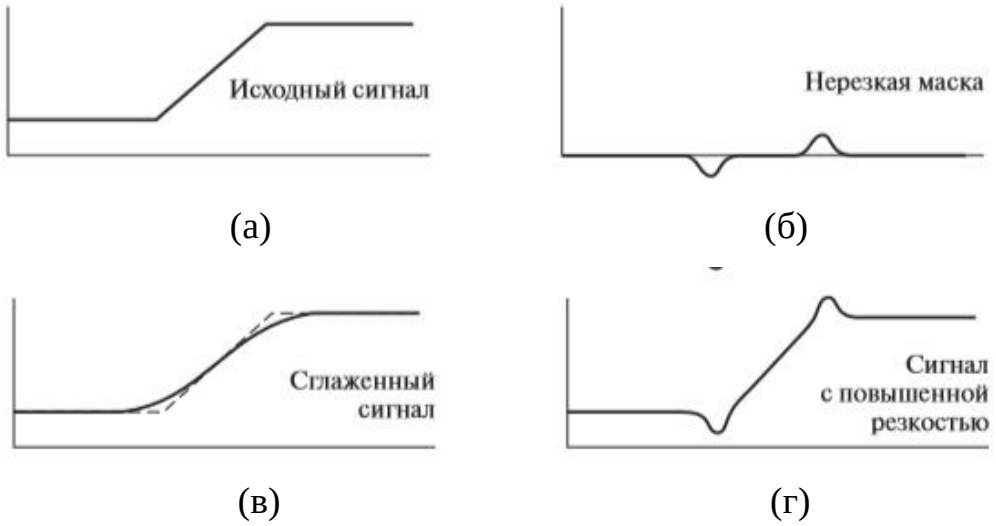
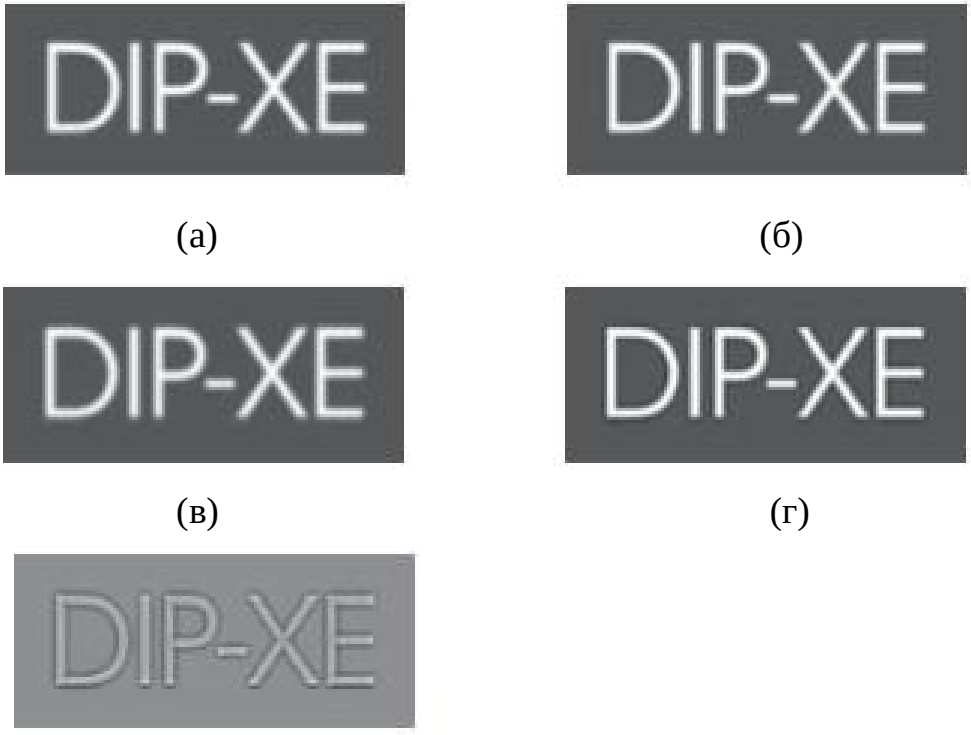


Рисунок 2.4 – Одновимірна ілюстрація механізму нерізкого маскування. (а) вихідний сигнал. (б) згладжений сигнал; вихідний для порівняння показаний пунктиром. (в) Нерізка маска. (г) Сигнал з підвищеною різкістю, отриманий додатком (в) до (А).

На рисунку 2.4 (в) дуже схожа на те, що можна було б отримати за допомогою другої похідної. Кінцевий результат з підвищеною різкістю, отриманий додатком маски до вихідного сигналу, показаний на рисунку 2.4 (г). Точки, в яких були зміни нахилу графіка яскравості, тепер виявилися посиленими (підвищена різкість). Зауважимо, що негативні значення також додаються до вихідного сигналу. Тим самим в результаті підсумовування можуть з’явитися негативні значення, якщо на вихідному зображенні були близькі до нуля значення або якщо значення коефіцієнта k вибрано надмірно великим, в результаті чого піки маски можуть вийти за допустимий діапазон яркостей. Негативні значення можуть викликати появу темного ореолу навколо контурів, що при досить великому k може привести до небажаного результату.

Приклад 2. Підвищення різкості зображення за допомогою нерізкого маскування.

На 2.5 (а) представлено злегка згладжене зображення білого тексту на темно-сірому тлі. Зображення на рисунку 2.5 (б) отримано за допомогою гауссова згладжує фільтра розмірами 5x5 з σ = 3. Рисунку 2.5 (в) - нерізка маска, отримана перетворенням згідно з рівнянням (2.8). Зображення на рисунку 2.5 (г) отримано використанням нерізкого маскування (рівняння (3.6-9) з k = 1). Це зображення дещо краще оригіналу, але можна досягти більшого. На рисунку 2.5 (д) показано застосування рівняння (2.9) з k = 4,5, найбільшим значенням, яке можна використовувати, щоб значення всіх пікселів кінцевого результату залишалися позитивними. Поліпшення на цьому зображенні в порівнянні з вихідним є значним.



(а) (б)

(в) (г)

(д)

Рисунок 2.5 – (а) вихідне зображення. (б) результат згладжування Гаусовим фільтром. (в) Нерізка маска. (г) Результат нерізкого маскування. (д) Результат фільтрації з підйомом високих частот.

Використання похідних першого порядку для (нелінійного) підвищення різкості зображень: градієнт.

В обробці зображень перші похідні реалізуються через модуль градієнта. Для функції f(x, y) градієнт f в точці (x, y) визначається як двовимірний вектор-стовпець:

$$\nabla f \equiv \text{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d}{d} \\ \frac{d}{d} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

Цей вектор має важливе геометричне властивість – він вказує на напрямок найбільшого зростання f в точці (x, y).

Модуль (довжина) вектора ∇f позначається як M (x, y), де:

$$M(x,y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \tag{2.11}$$

Є величина швидкості зміни f в напрямку вектора градієнта. Зауважимо, що сформоване зображення M (x, y) має той же розмір, що і вихідне зображення f, оскільки x і y мають той же діапазон зміни. Звичайною практикою є називати M (x, y) градієнтним зображенням або просто градієнтом, якщо сенс ясний. Оскільки компоненти вектора градієнта є похідними, вони являють собою лінійні оператори. Однак модуль вектора таким не є, оскільки він виражається через операції зведення в квадрат і вилучення квадратного кореня. З іншого боку, приватні похідні в рівнянні (2.10) не є інваріантними до повороту (ізотропними), але модуль вектора градієнта таким є. У деяких додатках буває більш вигідно з позицій обчислень замість квадратів і квадратних коренів використовувати наближення значення модуля градієнта сумою модулів окремих компонентів:

$$M(x,y) \approx |g_x| + |g_y| \tag{2.12}$$

Цей вираз все ще зберігає відносні зміни в рівнях яскравості, але властивість ізотропності, взагалі кажучи, пропадає. Однак, як і у випадку

лапласіана, для визначеного в наступному абзаці дискретного градієнта властивості ізотропності зберігаються тільки для обмеженого набору кутових прирощень, які залежать від масок фільтрів, що використовуються для наближення похідних. Як виявляється, маски, найбільш часто використовувані для наближення градієнта, є ізотропними для кутів, кратних 90°. Ці результати не залежать від того, яке рівняння використовується – (2.11) або (2.12), так що при використанні останнього рівняння нічого істотного не втрачається. Аналогічно лапласіану спочатку будуть визначені дискретні наближення наведених вище рівнянь, а потім вже по ним будуть сформовані відповідні маски фільтрів. Щоб спростити подальші міркування, для вказівки точок в околиці 3x3 будуть використовуватися позначення, показані на рисунку 2.6 (а). Так, наприклад, центральна точка z5 позначає f (x, y) в довільній точці (x, y), z1 позначає f (x – 1, y – 1) і так далі. Як зазначено в розділі 2.1.1, найпростішими наближеннями першої похідної, які задовольняють сформульованим в тому ж розділі умовам, є наступні: gx = (z8 – z5) і gy = (z6 – z5). Два інших визначення, запропоновані Робертсом [Roberts, 1965] в ранніх дослідженнях з цифрової обробки зображень, використовують перехресні напрямки:

$$g_x = z_9 - z_5 \quad \text{и} \quad g_y = z_8 - z_6 \tag{2.13}$$

Якщо вибрати рівняння (2.11) і (2.13), то градієнт буде обчислюватися за такою формулою:

$$M(x, y) = [(z_9 - z_5)^2 + (z_8 - z_6)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{2.14}$$

Якщо використовуються рівняння (2.12) і (2.13), то:

$$M(x, y) = |(z_9 - z_5) + (z_8 - z_6)|, \tag{2.15}$$

де X і y змінюються в межах всього зображення так само, як і раніше.

.

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

(а)

–1	0
0	1

0	–1
1	0

(б) (в)

–1	–2	–1
0	0	0
1	2	1

–1	0	1
–2	0	2
–1	0	1

(г) (д)

Рисунок 2.6 – (а) Область зображення розмірами 3x3 елемента (z1,..., z9-значення яскравості відповідних пікселів під маскою). (б)–(в) перехресний градієнтний оператор Робертса. (г)–(д) Оператор Собела

Приватні похідні, що використовуються в (2.13), можуть бути реалізовані за допомогою двох масок лінійних фільтрів, показаних на рисунку 2.6 (б) і (в). Ці маски називають перехресним градієнтним оператором Робертса. Однак маски парного розміру реалізовувати незручно, оскільки вони не мають елемента, що є центром симетрії. Найменша маска фільтра, яка нас цікавить, має розміри 3x3. Наближеннями до gx і gy, що використовують

околицю 3x3, центровану відносно z5, будуть:

$$g_x = \frac{d}{d} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (2.16)$$

та

$$g_y = \frac{d}{d} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (2.17)$$

Ці рівняння можуть бути реалізовані за допомогою масок на рисунку 2.6 (г) і (д). Різниця між значеннями пікселів в третьому і першому рядках околиці 3x3 апроксимує значення похідної у напрямку x, а різниця між значеннями пікселів в третьому і першому стовпцях – значення похідної у напрямку y. після обчислення похідних за допомогою цих масок амплітуда градієнта обчислюється так само, як і раніше. Так, наприклад, підставляючи gx і gy в рівняння (2.12), отримаємо.

Суми коефіцієнтів по кожній з масок дорівнюють нулю, як і повинно бути у градієнтних операторів.

$$M(x, y) \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (2.18)$$

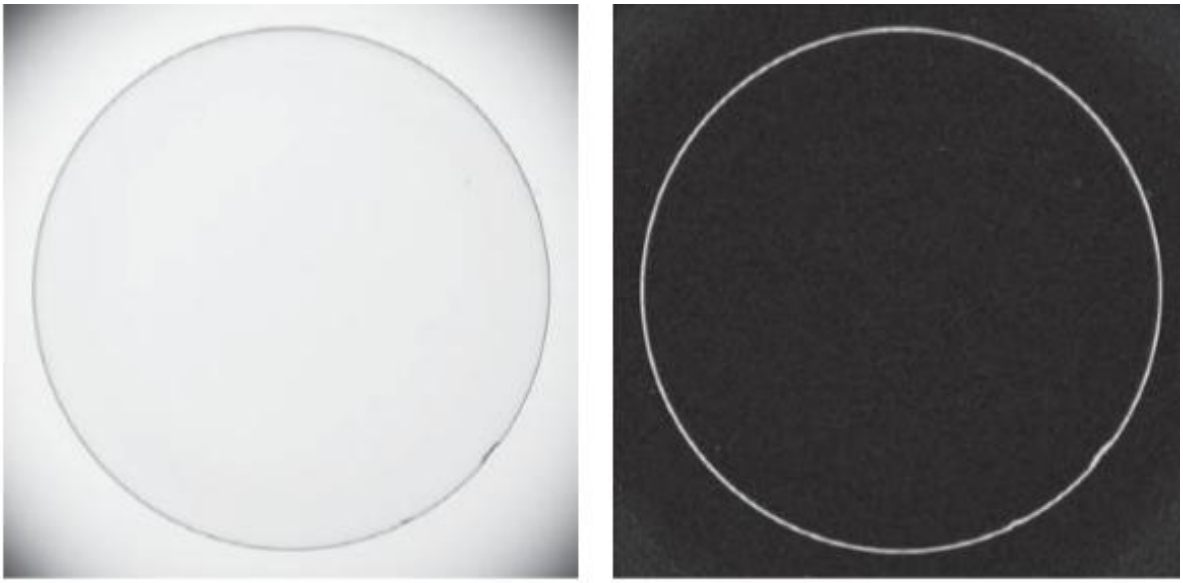
Маски, представлені на рисунку. 2.6 (г) і (д), називають оператором Собела. Використання значення 2 у центральних вагових коефіцієнтів (в рядках і стовпцях) засноване на прагненні досягти більшої гладкості за рахунок присвоєння центральним точкам більшої значущості (це питання детально буде розглянуто в главі 10). Зауважимо, що суми коефіцієнтів кожної з масок, показаних на рисунку 2.6, рівні 0, і це означає, що на ділянках зображення з постійним рівнем яскравості відгук будь-якого з наведених операторів буде дорівнює 0, як і повинно бути у оператора, відповідного першої похідної. Як зазначалося раніше, обчислення gx і gy є лінійними операціями, оскільки засновані на похідних, і, таким чином, можуть

реалізовуватися як суми творів, в яких використовуються коефіцієнти просторових масок на рисунку 2.6. Нелінійний аспект підвищення різкості за допомогою градієнта полягає у використанні при обчисленні M(x, y) операцій зведення в квадрат і вилучення квадратного кореня або абсолютних значень; кожна з цих операцій є нелінійною. Ці операції виконуються після лінійного процесу, що формує gx і gy.

Пример 3. Застосування градієнта для поліпшення контурів.

Градієнт часто використовується в технічному контролі для того, щоб допомогти людині виявити дефекти, або, що є більш загальним, як попередня обробка в автоматизованому контролі. Однак видається корисним розглянути деякий простий приклад прямо зараз, щоб показати, як може бути використаний градієнт для поліпшення видимості дефектів і для видалення слабо мінливих характеристик фону.

В даному прикладі поліпшення використовується в якості кроку попередньої обробки для подальшого автоматичного контролю, а не для візуального аналізу.



(а) (б)

Рисунок 2.7 – (а) оптичне зображення контактної лінзи (дефекти видно на краях кола в позиціях «4 і 5 годин»). (б) градієнт, отриманий оператором Собела. ((Вихідне зображення надав Піт Сайт с, Perceptics Corporation)

В даному прикладі поліпшення використовується в якості кроку попередньої обробки для подальшого автоматичного контролю, а не для візуального аналізу. На рисунку 2.7 (а) показано оптичне зображення контактної лінзи, освітленої спеціальною світловою установкою, призначеної для підкреслення неточність. В даному випадку можна помітити два дефекти на краях (вони видно на окружності в позиціях «4 і 5 годин»). На рисунку 2.7 (б) показаний градієнт, підрахований за формулою (2.12) з масками оператора Собела, показаними на рисунку 2.7 (г) і (д). Дефекти країв видно як на зображенні 2.7 (а), так і на 2.7 (б), але перевагою другого зображення є те, що усунені повільні зміни яскравості, тим самим спрощена задача автоматичного контролю. Градієнтна обробка може бути також використана для підкреслення дрібних дефектів, які нелегко помітити на напівтоновому зображенні (такими дефектами можуть бути чужорідні вкраплення, повітряні кишені в тримачі, а також неточності меніска лінзи). Здатність підкреслити дрібні неоднорідності на рівному сірому полі є ще одна важлива характеристика градієнта.

2.2 Підвищення різкості зображення частотними фільтрами

Зображення може бути згладжене шляхом придушення високочастотних складових його Фур’є-перетворення. Оскільки контури та інші стрибкоподібні зміни яскравості пов’язані з високочастотними складовими, підвищення різкості зображення може бути досягнуто за допомогою процедури високочастотної фільтрації в частотній області, яка пригнічує низькочастотні складові і не зачіпає високочастотну частину Фур’є-перетворення. Ми розглядаємо центрально-симетричні фільтри з нульовим фазовим зрушенням. Так що всі фільтр-функції h (u,v) розуміються як дискретні функції розмірами P x Q; тобто дискретні частотні змінні знаходяться в діапазоні u = 0, 1, 2,..., P - 1 і v = 0, 1, 2, ..., Q – 1.

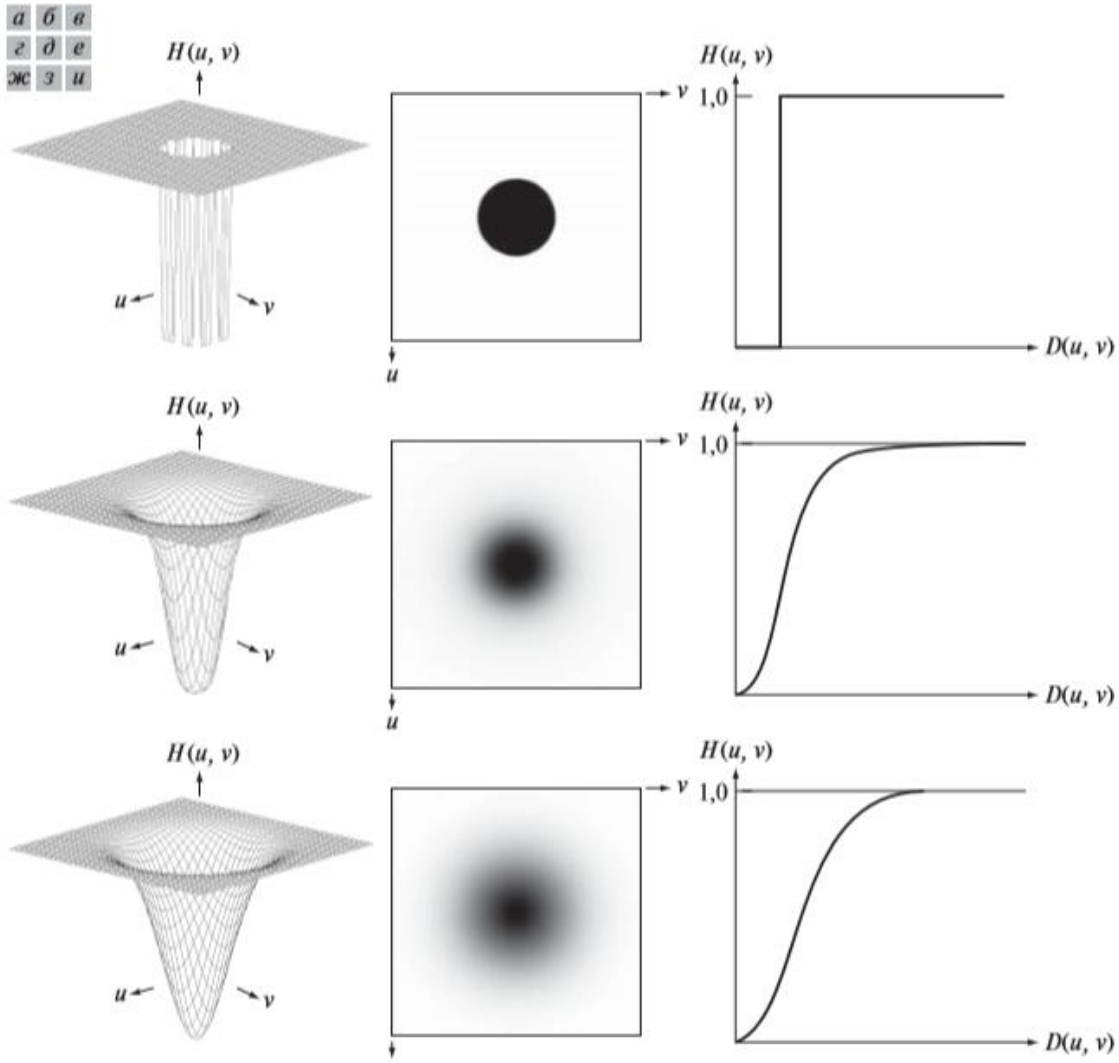


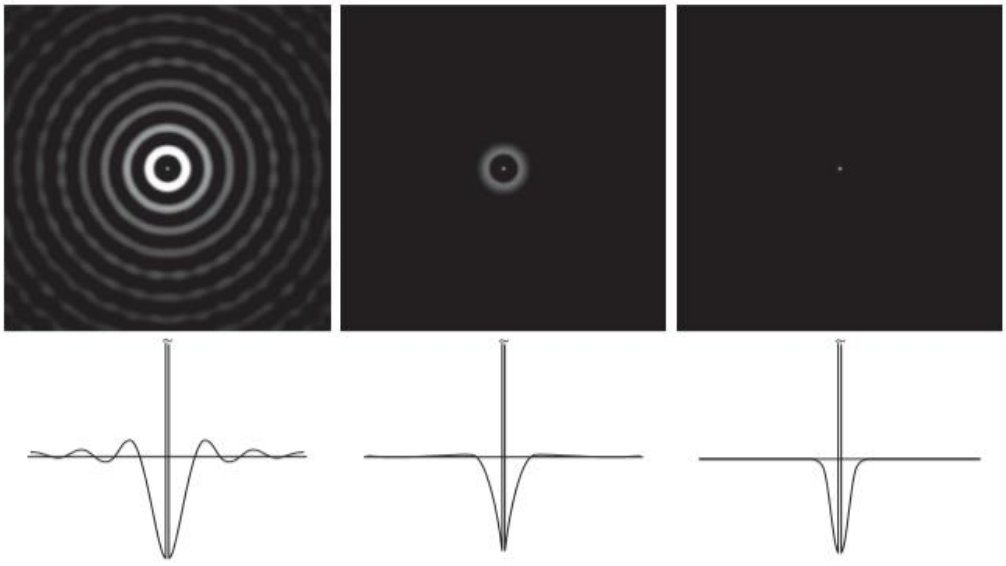
Рисунок 2.8 – Верхній ряд: тривимірний графік, напівтонове зображення і профіль типового ідеального високочастотного фільтра. Середній і нижній ряди: та ж послідовність для типових високочастотних фільтрів Баттерворта і Гауса

Передавальна функція високочастотного фільтра може бути отримана із заданого низькочастотного фільтра за допомогою співвідношення

$$H_H\ (u,v) = 1 - H_L\ (u,v), \tag{2.19}$$

де $H_L\ (u,v)$ позначає передавальну функцію відповідного низькочастотного фільтра. Таким чином, частоти, ослаблені низькочастотним фільтром, пропускаються високочастотним фільтром, і навпаки. У цьому

розділі ми розглядаємо ідеальні високочастотні фільтри, високочастотні фільтри Баттерворта і гаусові високочастотні фільтри. Як і в попередньому розділі, ми вивчаємо властивості цих фільтрів як в частотній, так і в просторовій областях. На рисунку 2.8 представлені Тривимірні і напівтонові зображення, а також профілі типових фільтрів кожного з перерахованих видів. Як і раніше, ми бачимо, що фільтр Баттерворта займає проміжне положення між різкістю ідеального фільтра і сильною згладженістю гауссова фільтра. Рисунок 2.9, обговорюваний у наступному розділі, дає уявлення про поведінку цих фільтрів у просторовій області.



(а) (б) (в)

Рисунок 2.9 – Представлення в просторовій області типових високочастотних фільтрів: (а) ідеальний фільтр, (б) фільтр Баттерворта, (в) гаусів ФІЛЬТР; внизу представлені відповідні їм профілі яскравості рядків, що проходять через центр

2.2.1 Ідеальні фільтри високих частот

Двовимірний ідеальний фільтр високих частот (ідеальний ФВЧ) визначається формулою:

$$H_H\ (u,v) = \begin{cases} 0 \text{ при } D(u,v) \le D_0 \\ 1 \text{ при } D(u,v) > D_0 \end{cases} \quad (2.20)$$

де D_0-частота зрізу,а величина D(u, v) задається формулою. Це прямо випливає з (2.19). Як і малося на увазі, дія ідеального ФВЧ протилежно дії ідеального ФНЧ в тому сенсі, що він обнуляє всі частоти, що потрапляють всередину кола радіуса D_0, одночасно пропускаючи без ослаблення всі частоти, що лежать поза колом. Як і ідеальний низькочастотний фільтр, ідеальний ФВЧ не може бути реалізований за допомогою електронних пристроїв. Однак ми розглянемо його для повноти, а також оскільки його властивості можуть бути використані для пояснень різних явищ, таких як дзвін у просторовій області. Наше обговорення буде коротким. Виходячи зі співвідношення (2.19), Що зв’язує фільтри високих і низьких частот, ми вправі очікувати, що ідеальні ФВЧ володіють такими ж властивостями щодо дзвону, як і ідеальні ФНЧ. Це ясно демонструє рисунку 2.10, який складається з результатів обробки вихідного зображення, за допомогою різних ідеальних ФВЧ зі значеннями частоти зрізу D_0= 30, 60 і 160 пікселів відповідно. Дзвін на рисунку 2.10 (а) настільки великий, що він призвів до деформації і потовщення меж об’єктів (подивіться, наприклад, на велику букву «А»). Межі трьох верхніх кіл майже не видно, оскільки їх контраст малий у порівнянні з контрастами інших об’єктів на зображенні (яскравість цих трьох об’єктів набагато ближче до яскравості фону, що призводить до меншої величини розривів). Якщо подивитися на розмір "плями"на зображенні ідеального ФВЧ (див. 2.9 (а)) і згадати, що фільтрація в просторовій області є згортка просторового фільтра із зображенням, то це допоможе пояснити, чому маленькі об’єкти і лінії виглядають як майже цілком білі. Подивіться, зокрема, на три маленьких квадрата у верхньому ряду і на тонкі вертикальні смуги на рисунку 2.10 (а). Ситуація до деякої міри поліпшується в разі D_0 = 60. Деформація контурів все ще досить очевидна, але тепер ми починаємо бачити фільтрацію на маленьких об’єктах. Вже добре знайоме зворотне відношення

між шириною фільтра в частотній і просторовій області говорить про те, що розмір плями цього фільтра менше, ніж розмір плями фільтра з D_0 = 30. Результат для D_0 = 160 близький до того, як повинен виглядати результат високочастотної фільтрації. Контури тут набагато рівніші і менше Спотворені, і маленькі об’єкти відфільтровані належним чином. Постійний фон на всіх зображеннях, оброблених високочастотними фільтрами, звичайно, дорівнює нулю, оскільки високочастотна фільтрація аналогічна диференціюванню в просторовій області.

(а) (б) (в)

Рисунок 2.10 – Результати високочастотної фільтрації; використовувався ідеальний ФВЧ з D_0 = 30, 60 і 160

2.2.2 Фільтри високих частот Баттерворта

Передавальна функція двовимірного високочастотного фільтра Баттерворта (ФВЧ Баттерворта) Порядку n з частотою зрізу D0 задається формулою:

$$H(u,v) = \frac{1}{1+[D_0/D(u,v]^{2n}}, \quad (2.21)$$

де відстань D (u,v). На рисунку 2.8 в середньому ряду представлено зображення і профіль передавальної функції ФВЧ Баттерворта. Як і у випадку

низькочастотних фільтрів, ми маємо право очікувати від високочастотних фільтрів Баттерворта більш гладкої поведінки в порівнянні з ідеальними ФВЧ. На рисунку 2.11 показані результати застосування ФНЧ Баттерворта порядку з частотами зрізу D_0, що приймають ті ж значення, що і на рисунку 2.11. Спотворення меж об’єктів істотно менше, ніж на рисунку 2.10, навіть для найменшого значення частоти зрізу. Оскільки розміри центрального плями для ідеального ФВЧ і ФВЧ Баттерворта близькі (див. 2.10 (а) і (б)), результати фільтрації малих об’єктів обома фільтрами призводить до порівнянних результатів. Перехід до більш високих значень частоти зрізу для ФВЧ Баттерворта відбувається набагато більш плавно.

2.2.3 Гаусові фільтри високих частот

Передавальна функція гаусового фільтра високих частот (ФВЧ Гауса) з частотою зрізу, розташованої на відстані D0 від центру частотного прямокутника, задається формулою:

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}, \qquad (2.22)$$

де відстань *D (u,v).*

На рисунку 2.8 у нижньому ряду представлені тривимірний графік, зображення і профіль передавальної функції ФНЧ Гауса. Прідер живаючись того ж формату, як при обговоренні ФНЧ Баттерворта, ми наводимо на рисунку 2.12 заслуговують порівняння результати, пораховані з використанням ФНЧ Гауса. Як і слід було очікувати, отримані зображення є більш гладкими, ніж при використанні попередніх двох фільтрів. Гаусів фільтр дає хорошу якість фільтрації навіть для маленьких об’єктів і тонких смуг. В табл. 2.1 наведено коротке зведення високочастотних фільтрів, розглянутих у цьому розділі.

(а) (б) (в)

Рисунок 2.11 – Результати високочастотної фільтрації (а) з використанням ФВЧ Баттерворта порядку 2 з D_0 = 30, 60 і 160. Дані результати істотно більш гладкі, ніж отримані із застосуванням ідеального ФВЧ

(а) (б) (в)

Рисунку 2.12 – Результати високочастотної фільтрації (а) з використанням ФВЧ Гауса з D_0 = 30, 60 і 160. Порівняйте з рисунку 2.10,2.11

Таблиця 2.1 – Високочастотні фільтри. D_0 є частота зрізу, а n-порядок фільтра Баттерворта

Ідеальний	Баттерворта	Гаус
$H_H\ (u,v)$ $= \begin{cases} 0 \text{ при } D(u,v) \le D_0 \\ 1 \text{ при } D(u,v) > D_0 \end{cases}$	$H(u,v) = \dfrac{1}{1 + [D_0/D(u,v]^{2n}}$	$H(u,v) = 1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$

Приклад 4. Застосування високочастотної фільтрації і зрізання для підвищення контрасту зображень.

На рисунку 2.13 (а) представлено зображення відбитка великого пальця розмірами 1026 х 962 пікселів з добре помітними плямами бруду (звичайна проблема). Важливим кроком процесу автоматичного розпізнавання відбитків є поліпшення відбитків ліній папілярного візерунка і усунення забруднення. Поліпшення корисно і для візуальної інтерпретації відбитка експертом. В даному прикладі розглядається застосування високочастотної фільтрації для поліпшення відбитків ліній і зменшення ефекту забруднення. Поліпшення відбитків ліній досягається використанням того факту, що вони в основному містять високі частоти, які залишаються незмінними в результаті високочастотної фільтрації. З іншого боку, ФВЧ знижує низькочастотні компоненти, які відповідають за повільні зміни яскравості, такі як фон і бруд. Тим самим поліпшення досягається за рахунок зниження впливу всіх особливостей, крім тих, які передаються високими частотами і становлять інтерес в даному випадку.

(а) (б) (в)

Рисунок 2.13 – (а) зображення відбитка великого пальця. (б) Результат високочастотної фільтрації (а). (в) Результат порогового поділу (б). (Оригінальне зображення надано Національним інститутом стандартів і технологій США)

Зображення на рисунку 2.13 – б) - результат застосування фільтра високих частот Баттерворта порядку 4 з частотою зрізу рівною 50. Як і слід було очікувати, в результаті високочастотної фільтрації яскравість зображення впала, оскільки постійна складова яскравості була зменшена до 0. Можна зробити висновок, що після високочастотної фільтрації на зображенні домінують темні тони, що вимагає додаткової обробки для поліпшення цікавлять деталей. Простим прийомом може бути порогова зрізка фільтрованого зображення. Результат присвоєння елементам з негативними величинами значення чорного, а елементам з позитивними величинами – білого кольору представлений на рисунку 2.13 (в). Відзначимо, наскільки ясно стали видні папілярні лінії і значно зменшився ефект забруднення. Фактично лінії, які у верхній правій частині зображення рисунку 2.13 (а) були ледь помітні, на рисунку 2.13 (в) стали прекрасно видно.

Значення D_0 = 50 становить приблизно 2,5% розміру короткої сторони розширеного зображення. Рекомендується вибирати D0 близько до початку координат, щоб низькі частоти придушувалися, але не забиралися повністю. Діапазон від 2% до 5% розміру короткої сторони зображення можна вважати хорошою відправною точкою.

2.2.4 Лапласіан в частотній області

У розділі 2.1.2 лапласіан в просторовій області вже застосовувався для поліпшення зображення. Тут ми повернемося до лапласіана ще раз і покажемо, що при використанні частотних методів він дає еквівалентні результати. Можна показати, що лапласіан може бути реалізований в частотній області за допомогою фільтра:

$$H(u, v) = -4\pi^2(u^2 + v^2). \qquad (2.23)$$

Тоді лапласіан зображення буде виглядати як:

$$\square^2 f(x,y) = F^{-1}\{H(u,v)F(u,v)\}, \quad (2.24)$$

де F(u,v) є ДПФ від f (x, y).

Як пояснювалося в розділі 2.1.2, поліпшення зображення досягається використанням наступного виразу:

$$g(x,y) = f(x,y) + c\square^2 f(x,y)\,. \quad (2.25)$$

Тут c = -1, оскільки H (u,v) є негативним. У розділі 3 f(x, y) і □2f(x, y) мали порівнянні за величиною значення. Однак обчислення □2f (x, y) згідно з виразом (2.24) вносить масштабний коефіцієнт зворотного ДПФ, який може на кілька порядків перевищувати максимальне значення f. значить, необхідно повернути різницю між f і її лапласіаном в порівнянні діапазони. Найпростіший шлях вирішення цієї проблеми полягає в нормуванні значень f (x, y) в діапазон [0, 1] перед обчисленням ДПФ і діленням лапласіана ≈ 2f(x, y) на своє максимальне значення, що приведе його в приблизний діапазон [-1, 1] (нагадаємо, що лапласіан має також і негативні значення). Після цього вже можна застосовувати вираз (2.25).

У частотній області вираз (4.9-8) записується у вигляді:

$$\begin{aligned} g(x,y) &= F^{-1}\{H(u,v)F(u,v)\}, = \\ &= F^{-1}\{[1 - H(u,v)]F(u,v)\} = \\ &= F^{-1}\{[1 - 4\pi^2 D^2(u,v)]F(u,v)\} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Хоча цей результат виглядає елегантно, проте йому притаманні такі ж самі труднощі з масштабом, як були тільки що розглянуті, ускладнюються тим, що нормувальний коефіцієнт не так легко обчислити. З цих причин вираз(4.9-8) є кращим способом реалізації в частотній області при обчисленні □2f (x, y) згідно (2.24) і масштабуванні за допомогою підходу, викладеного в попередньому параграфі.

Приклад 5. Підвищення різкості зображення за допомогою лапласіана в частотній області.

Зображення на рисунку 2.14 (а) є тим же, що і на рисунку 3.38(а), рисунку 2.14 (б) демонструє результат застосування виразу (2.25), в якому лапласіан обчислювався в частотній області за формулою (2.24). Масштабування було таким, як описано в контексті цього виразу. Порівняння рисунку 2.14 (а) і 2.14 (б) показує, що результати, отримані в частотній і просторовій областях, візуально ідентичні. Звернемо увагу, що обидва приведених результату відповідають масці лапласіана на рисунку 2.2 (б), що має в центрі коефіцієнт -8.

2.2.5 Нерізке маскування, високочастотна фільтрація з підйомом частотної характеристики, фільтрація з посиленням високих частот

У цьому розділі будуть розглядатися способи реалізації в частотній області методів нерізкого маскування і підвищення різкості, що використовують фільтрацію з підйомом високих частот, просторова реалізація яких обговорювалася в розділі 3.6.3. Маска, що задається виразом (3.6-8), за допомогою засобів частотної області записується у вигляді:

$$g_m \quad (x, y) = f(x, y) - f_L \ (x, y) \tag{2.27}$$

$$f_{I.P}(x, y) = F^{-1}[H_L \ (u, v)F(u, v)], \tag{2.28}$$

де $H_L \ (u, v)$є фільтром низьких частот, а $F(u, v)$F(u,v) – Фур'є-перетворенням від f(x, y). Тут$f_L \ (x, y)$є згладженим зображенням, аналогом $f(x, y)$ в (2.8). Тоді, як і в (2.9).

$$g(x, y) = f(x, y) + k_{\ m} \quad (x, y) \tag{2.29}$$

При k = 1 даний вираз задає нерізке маскування, а при k > 1 – фільтрацію з посиленням високих частот. Використовуючи попередні результати, (2.29) можна виразити повністю в термінах частотної області, використовуючи фільтр низьких частот:

$$g(x, y) = F^{-1}\{[1 + k[1 - H_L\ (u, v)]]F(u, v)\} \quad (2.30)$$

Використовуючи (2.19), можна виразити результат в термінах фільтра високих частот:

$$g(x, y) = F^{-1}\{[1 + kH_H\ (u, v)] = F(u, v) \quad (2.31)$$

(а) (б)

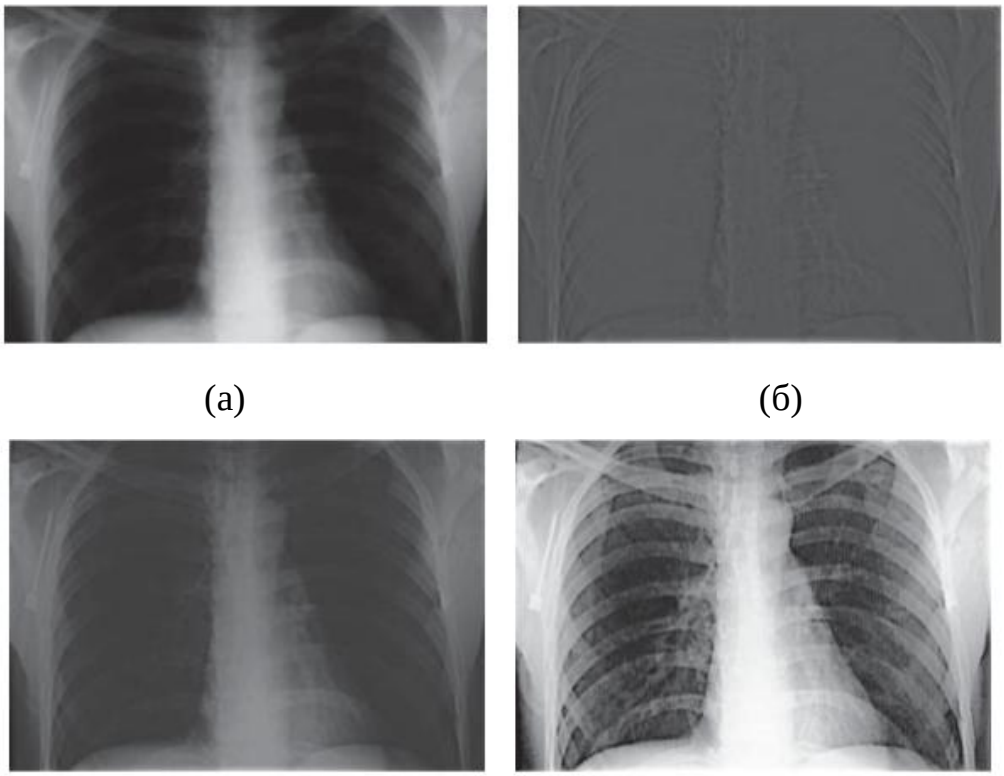
Рисунок 2.14 – (а) початкове розмите зображення. (б) поліпшення зображення використанням лапласіана в частотній області.

В даному виразі всередині квадратних дужок міститься так званий фільтр посилення високих частот. Фільтр високих частот, як зазначалося раніше, встановлює постійну складову в нуль, тим самим знижуючи середню яскравість фільтрованого зображення до 0. Фільтр посилення високих частот позбавлений цього недоліку, оскільки в ньому до значення фільтра високих

частот додається 1. Константа k управляє пропорцією внеску високих частот у фінальний результат. Дещо більш загальним формулюванням фільтра посилення високих частот є наступний вираз:

$$g(x,y) = F^{-1}\{[k_1 + k_2 \cdot H_H\ (u,v)]F(u,v)\}, \qquad (2.32)$$

де k1 ≥ 0 задає загальну яскравість, а k2 ≥ 0 управляє внеском високих частот.



(а) (б)

(в) (г)

Рисунок 2.15 – (а) рентгенівський знімок грудної клітини. (б) Результат високочастотної фільтрації з використанням гауссового фільтра. (в) результат фільтрації з посиленням високих частот при використанні того ж фільтра. (г) Результат застосування методу еквалізації гістограми к (в).

Приклад 6. Поліпшення зображення за допомогою фільтрації з посиленням високих частот.

3 МОДИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ НЕРІЗКОГО МАСКУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ

3.1.Основи моделі нерізкого маскування

Ефект розмиття є одним з найвідоміших і частих деградації, що відбуваються в цифрових зображеннях, в яких він сильно знижує візуальну якість зображення, роблячи його важким для сприйняття важливих деталей. Сприйняття людини надзвичайно чутливе до деталей зображення. Оскільки цифрові зображення складаються в основному з високочастотних компонентів, якість зображення може бути сильно пошкоджено, якщо високі частоти послаблюються або усуваються [6]. Навпаки, поліпшується високочастотні компоненти зображення можуть дати поліпшення якості [7].

Різкість зображення означає будь-яку техніку поліпшення, що підвищує візуальну якість деталей зображення [8]. Ця технологія широко використовується в фотографії та поліграфічній промисловості для поліпшення різкості цифрових зображеннях [9]. В взагалі, існує багато причин для підвищення різкості зображення, включаючи подолання ефекту розмиття за допомогою камери та іншого обладнання, що привертає увагу до конкретної області зображення і поліпшення розбірливості.

Цифрові зображення мають різні профілі меж завдяки характеру об’єктів, поміщених в захоплену сцену. Зокрема, контури, краї і локальні деталі є конкретними компоненти зображення, які містять важливу інформацію, що має суттєве значення для спостерігача і видимою якістю зображення. Однак, така інформація може не здаватися чіткою в силу певних неминучі обмеження обладнання для отримання зображення. Таким чином, цифрове зображення погіршується в якості і виглядає розмитим [10]. Методи підвищення різкості зображень зазвичай використовуються в цифровій

обробці зображень для поява чіткості слабких контурів, країв і локальних деталей, що є головною метою обробки зображень [9].

Для цього використовуються найрізноманітніші засоби заточування зображень були введені методи просторової та частотної фільтрації підвищення різкості зображення, в тому числі метод лапласіан [11], нерізке маскування, [12], нелінійне рівняння (градієнт) [13], контурне перетворення [14], фільтри високих частот Батерворта [15], нечітка логіка [16], Гаусові фільтри високих частот [17], гомофорна фільтрація [18] і багато іншого. Кожен з них вищезазначені методи мають обмеження по продуктивності в додаток до вимог специфічного обладнання та програмного забезпечення. Більш того, їх складність варіюється від низький до високого через використання різних концепцій обробки.

Серед існуючих методів можна виділити нерізке маскування, яке отримало значну увагу з боку дослідників в області за минуле десятиліття завдяки своїй простоті в обробці різних типів зображення. Тим не менш, відомо, що цей фільтр може викликати наслідки і зменшити справжню цінність різних зображень[19]. Серед таких наслідків часто зустрічається ефект перевищення введених даних в оброблене зображення [20,30].

Цей ефект виникає навколо бічних меж, роблячи їх з помітними білими відтінками навколо них [21]. Отже, необхідно модифікувати традиційний фільтр нерізкого маскування для того, щоб виправити всі недоліки цього фільтру. Незважаючи на значне просування вперед у цій галузі шанси на поліпшення цього фільтра все ще залишаються доступними. Отже, модифікація фільтру нерізкого маскування є метою даної роботи, щоб отримувати зображення з кращою різкістю, без ніяких небажаних ефектів. У розробленому фільтрі підвищення різкості, зображення згладжується за допомогою традиційного білатерального фільтру потім розмити за допомогою модифікованого фільтра Батерворта, замість розмиття його за допомогою фільтра Гаусса нижніх частот, як це зроблено в традиційним фільтром нерізкого маскування.

Такий підхід дозволив виключити появу небажаний ефектів і помилок для відновлення зображень з кращою візуальною якістю. Проведена оцінка запропонований фільтру з використанням двох сучасних методів оцінки якості зображення, реальні метрики і штучніі-розмиті зображення та їх порівняння з трьома відомими точками підвищення різкості зображення. Експериментальні результати показали, що запропонований фільтр може дати кращі результати, ніж його оригінал, аналоги і порівнювані техніки.

3.2 Модифікація фільтру нерізкого маскування

Запропонований фільтр починається з отримання розмитого зображення та параметрів для подальшої процедури обробки. Задаються такі параметри w=5, σ_d=3, σ_r=0,1 і f_c=120. Важливо відзначити, що σ_d - це те ж, що і σ_s у наступних рівняннях. Далі, білатеральний фільтр реалізований для згладжування зображення і ослаблення його високочастотних компонентів. Якщо результат цього фільтра використовується безпосередньо з фільтром нерізкого маскування, може з’явитися ореол навколо певних країв в кінцевому результаті зображення.

Таким чином, зображення, отримане двостороннім фільтром, далі розмивається модифікованим фільтром нижніх частот Батерворта щоб уникнути появи такого небажаного наслідку.

Після цього результат цього кроку передається в якості вхідних даних для фільтр нерізкого маскування для отримання остаточного результуючого зображення.

Нижче приведені розрахунки з відповідними поясненнями, щоб добре розуміти специфіку експлуатації цього фільтру, представлено основний алгоритм функціювання пропонований фільтру (рисунку 3.1).

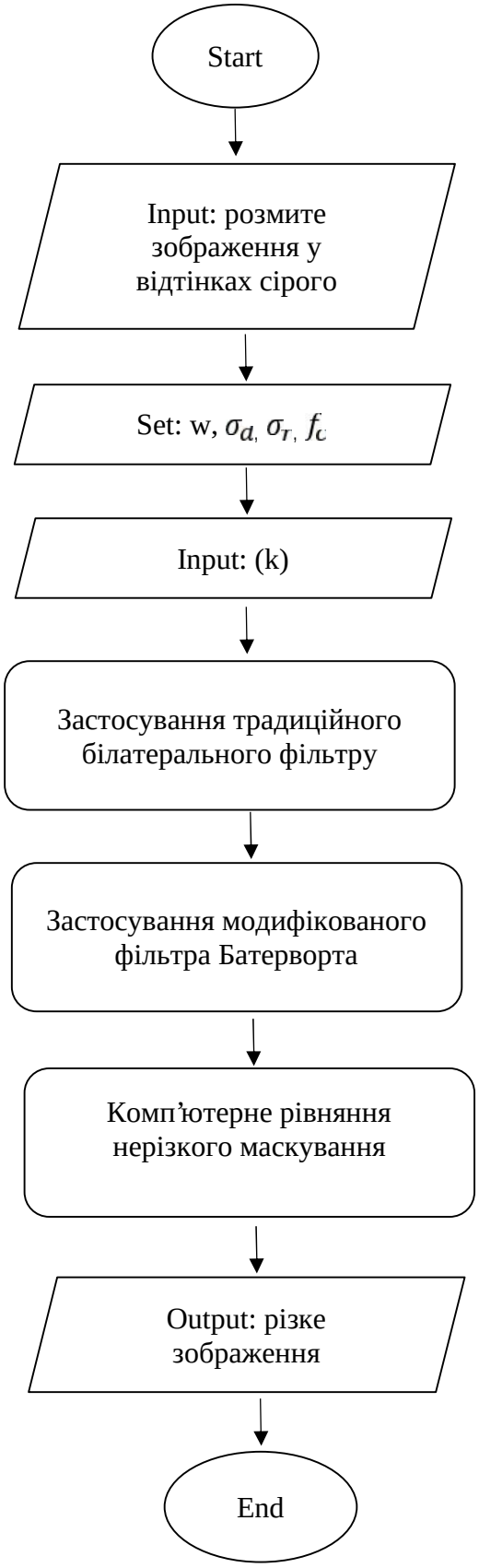


Рисунок 3.1 – Алгоритм функціювання пропонований фільтру

3.3 Білатеральний фільтр

Цей фільтр вважається нелінійним методом згладжування, згладжує фільтр, що зберігає контури (межі) деталей зображення; замінює значення оброблюваного пікселя зваженим середнім значенням його сусідів, причому (на відміну від багатьох звичайних фільтрів) з урахуванням як їх просторового положення, так і яскравості (іншими словами - не тільки геометричної, але і колірної, або фотометричної, близькості/віддаленості). Використовується для боротьби з шумами, усунення розмитості зображень та інших цілей. Крім того, він працює так само, як і Гауссова згортка при отриманні зважених середніх пікселів. Однак відмінність полягає в тому, що цей фільтр розглядає зміну інтенсивностей контурів і дрібних деталей збереження. Перевага білатерального фільтру полягає в наступному, при виділенні двох подібних пікселів, перевіряє де вони знаходиться, чи достатньо близько їх просторова відстань і якщо значення інтенсивностей. Коли зображення *I* оброблюється за допомогою білатеральний фільтру $I^B\ (x, y)$ для пікселя *(i, j)* можна визначити за наступною формулою [22]:

$$I^B\ (x, y) = \frac{\sum w(i,j)I(i,j)}{\sum w(i,j)} \tag{3.1}$$

де, вага маски w (i, j) визначаються шляхом обчислення добутку інтенсивності двох різнорідних масок $w_r(i, j)$ у визначеній області $w_s(i, j)$ обчислюється за наступним рівнянням:

$$w_s\ (i, j) = \exp\left\{-\frac{(i-x)^2+(j-y)^2}{2\sigma_s^2}\right\} \tag{3.2}$$

$$w_r\ (i, j) = \exp\left\{-\frac{\{I\ (i-x)^2+(j-y)^2\}}{2\sigma_r^2}\right\} \tag{3.3}$$

$$w(i,j) = w_s(i,j) \square w_r(i,j), \quad (3.4)$$

де σ_s, σ_r це два стандартних параметри відхилення, що визначають розширення двох ядер Гаусса.

Білатеральний фільтр регулюються параметрами σ_s та σ_r. Ці два параметри можуть регулювати зниження цих двох вагових коефіцієнтів. При збільшенні значення параметра σ_r вихід білатерального фільтра стає дещо менше схоже на розмиття Гауса. Коли значення обох параметри високі, результат білатерального фільтра є трансформувався в середньостатистичний.

3.4 Фільтри низьких частот Баттерворта

Добре відомий метод фільтрації нижніх частот Баттерворта для розмиття зображення. Він тримає частоти всередині радіуса D_0 і області значення поза ними, щоб забезпечити поступову зміну від 0 до Передавальна функція низькочастотного фільтра Баттерворта (BLP) порядку n з частотою зрізу на відстані D_0 від початку координат задається формулою [23]:

$$H(u,v) = \frac{1}{1+\left(\frac{D(u,v)}{D_0}\right)^{2n}} \quad (3.5)$$

На відміну від ідеального ФНЧ, передавальна функція ФНЧ Баттерворта не має розриву, який задає точну межу між частотами які пропускаються і обрізаються. Для фільтрів з гладкою передавальною функцією звичайною практикою є визначення місця розташування частот зрізу як безлічі точок, в яких значення функції $H(u,v)$ стають меншими визначеної частки її максимального значення. За формулою такою точкою є *D(u,v)= D_0,* коли $H(u,v)$ стає менше 50% максимального значення, рівного 1.

Базова модель фільтрації заданого зображення досягається за допомогою перетворення отриманого зображення в частотну область *I (u, v),*

потім помножимо його на *H (u, v),* використовуючи наступне рівняння[27]:

$$B(x,y) = ij \quad [I(u,v) \square H(u,v)], \tag{3.6}$$

де *B (x,y)* - результуюче зображення. У цьому дослідженні використовується модифікована версія наведеного вище фільтра, в якій параметр порядок n видаляється, щоб зменшити кількість вводів в пропонований фільтр і для отримання кращого результату розмиття, коли справа доходить до згладженого зображення за допомогою BLP. Визначається модифікований білатерального фільтру за допомогою наступного рівняння:

$$H(u,v) = \frac{1}{1+\left(\frac{D(u,v)}{D_0}\right)^2} \tag{3.7}$$

$$T(x,y) = ij \quad [I^B\ (u,v) \square H(u,v)], \tag{3.8}$$

де *Ḋ (u,v*) обчислюється за зображенням $I^B\ (x,y)$ після перетворення його в частотну область. *Ḣ (u, v)* – це розмиття маски генерується з результуючого зображення об’єкта білатерального фільтру; T (x, y) - розмитий результат за допоиогою BLP. Варто згадати про наслідки, створені фільтром, є виправленими шляхом присвоєння граничних значень оригіналу зображення до зображення отриманого за допомогою BLP.

3.5 Фільтр нерізкого маскування

Це відомий, але простий фільтр підвищення різкості, він покращує межі і інші дрібні деталі через процес, який видаляє нерізкі (розмиті) форми з оригіналу зображення. Цей фільтр зазвичай використовується в багатьох зображеннях поля для збільшення гостроти зображення, прийнятого за

розмитий. Фільтр нерізкого маскування може бути розрахований за допомогою наступного рівняння [13]:

$$\mathrm{U}(x, y) = I(x, y) + k\,[I(x, y) - G(x, y)], \tag{3.9}$$

де *U (x,y)* є результатом різкого зображення; *I (x,y)* є спочатку розмите зображення; *G (x, y)* образ *I (x, y),* який фільтрується фільтром Гауса нижніх частот; k-масштабування констант, в яких вона повинна виконуватися (k > 0), більше значення збільшує кількість виробленої різкості.

В роботі зображення згладжується білетеральним фільтром, потім розмитим модифікованим BLP фільтром використовується в межах фільтру нерізкого маскування для отримання результуючого зображення *Q (x, y),* як у наступному рівнянні:

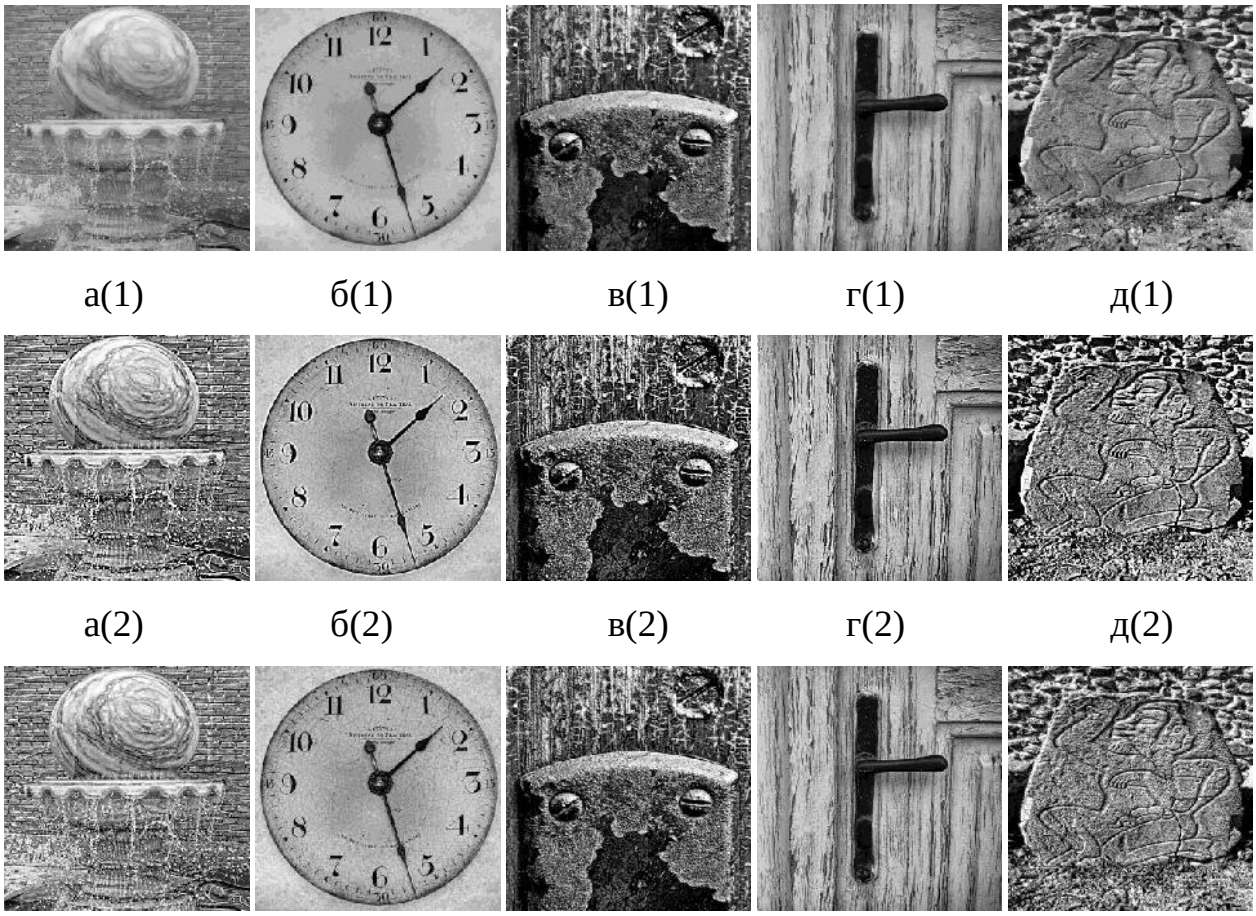
$$Q\,(x, y) = I(x, y) + k\,[I(x, y) - T(x, y)] \tag{3.10}$$

При використанні традиційного фільтра нерізкого маскування без пропонованої модифікації, отримане зображення більш чіткіше. Таким чином, передбачається, що запропонований фільтр забезпечив би більш кращі уявлення ніж його традиційна версія в підвищенні різкості різних зображень з поганої чіткістю.

3.6 Результати дослідження

У цьому розділі представлена вся необхідна інформація та інформація щодо проведених дослідів, їх результати, використані зображення, метрики оцінки якості зображень (IQA), а також надано порівняння використаних фільтрів. Набір даних (збражень), який використовується в цьому випадку дослідження складається з різних реальних і штучно-деградованих відтінків сірого, які були взяті з різних безкоштовних веб-сайтів. Відповідно, реальне-

розмито зображення використовуються для експериментальних досліджень, в той час як для порівняння використовуються штучно-розмиті зображення. Причина цього полягає в тому, щоб знати істину можливості обробки пропонованого фільтра. Запропонований фільтр порівнюється з традиційний фільтром нерізкого маскування (TUSM) [24], узагальненим фільтром нерізкого маскування (GUSM) [19] і фільтр Лапласа (LF) [25].



а(1) б(1) в(1) г(1) д(1)

а(2) б(2) в(2) г(2) д(2)

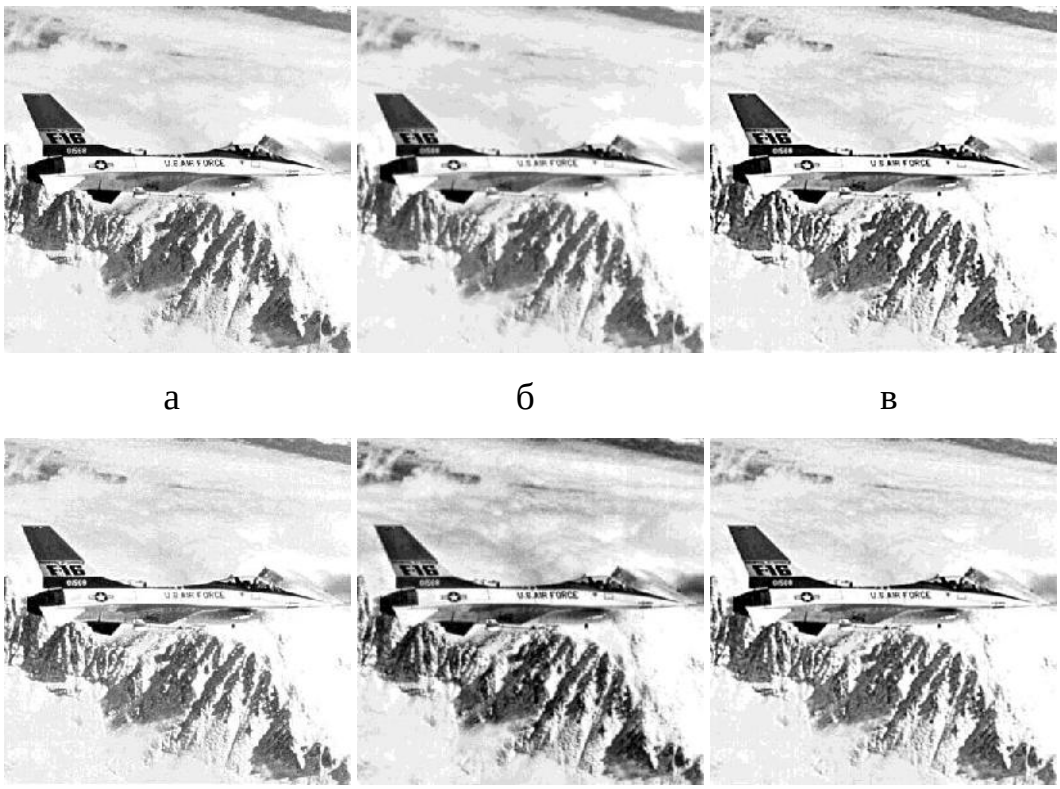
а(3) б(3) в(3) г(3) д(3)

Рисунок 3.2 – Обробка реальних деградованих зображень традиційно та за допомогою запропонованого фільтру нерізкого маскування: (а1-д1) є оригінальними напівстертих; (а2-д2) зображень, оброблених TUSM фільтром з відповідним значення k (3, 2.5, 2.5, 2, 3); (а3-д3) кілька зображень, оброблених за допомогою запропонованого фільтра з відповідним значення (3, 2.5, 2.5, 2, 3).

Що стосується використовуваних метрик IQA, то використовуються дві сучасні метрики передбачення якості зображення за алгоритмом повного порівняння з еталоном, а саме структурна подібність (SSIM) [26] і точність візуальної інформації в пікселі домену (VIFP) [22]. Відповідно, метрика SSIM вимірює якість відповідно до фактичної подібності структури даного зображення і відновленної копії. Крім того, метрика VIFP вимірює якість відповідно до видимості інформації, базового зображення і його відновленого аналогу. Отримані дані використовуваних метрик є числовими значеннями які знаходиться між 0 і 1, в якому значення близьке до 1 вказують висока візуальна якість оцінюваного зображення, в той час як значення близьке до 0 вказують на зворотне.

Важливо відзначити, що всі реалізації є досягнуто за допомогою MATLAB 2017A з персональним комп'ютером комп'ютер, який має 2,5-ядерний процесор I5 і 6 ГБ пам'яті пам'ять. На рисунку 3.1 показані деякі з отриманих експериментальні результатів з реальними деградованими зображеннями. На рисунку 3.2 продемонстровані результати досягнутих порівнянь між запропонованими та порівнянними фільтрами. Таблиця 1 показує записану точність досягнутих результатів порівняння. Рисунок 3.3 ілюструє аналітичний графік середніх балів в таблиці 1.

З отриманих результатів на рисунку 3.2, можна побачити, що запропонований фільтр забезпечив кращі результати з точки зору гострота і видимість об'єктів вище, ніж у фільтра TUSM. Результати роботи фільтра TUSM показали очевидний ефект промаху, в той час як результати запропонованого фільтра показували реалістичність, не показуючи ефект промаху. Крім того, отримані результати за допомогою запропонований фільтр виглядали більш природньо, виділяючи деталямі з таким же освітленням. Це істотно тому, що запропонована низька складність модифікації надзвичайно допомогли в збереженні оригінального підсвічування оброблюваного зображення при цьому поліпшення різкості зображення.

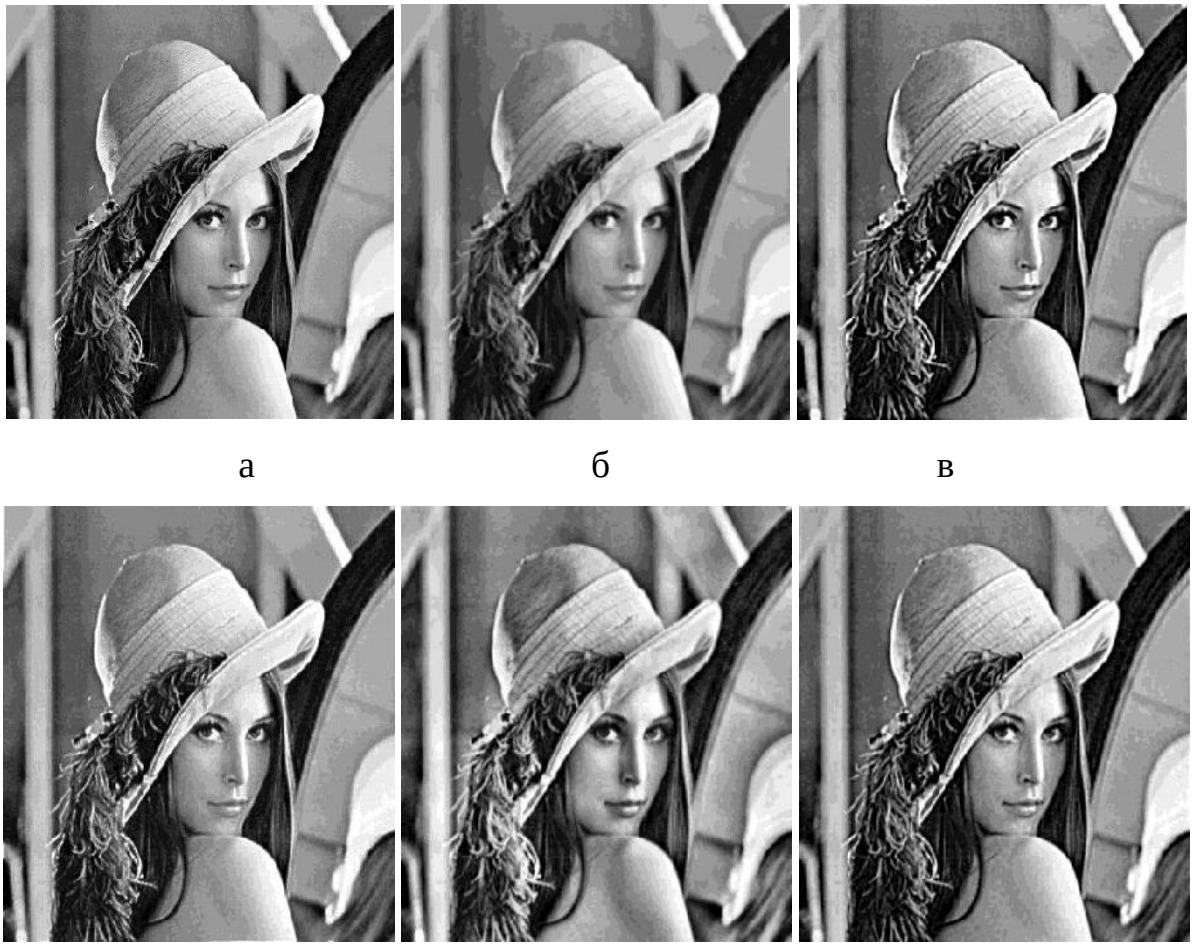


а б в

г д е

Рисунок 3.3 – Обробка штучно деградованого зображення запропонованими і порівнянними фільтрами: (а) еталонне зображення; (б) еталонне зображення, деградоване розмиванням фільтром Гауса з σ, рівним 1; інші зображення обробляються: (в) TUSM з k = 1.5; (г) LF; (д) GUSM; (е) пропонований фільтр з k = 1.5.

З отриманих результатів порівняння на рисунку 3.3 в таблиці 1 можна побачити пропонований фільтр дуже добре зарекомендували себе з точки зору показників IQA та якості, так як він показував підвищення різкості зображення без будь-яких небажаних наслідків. Крім того, продуктивність фільтра TUSM була дуже близька до очікуваної продуктивність запропонованого фільтра, при цьому різниця між результатами роботи двох фільтрів є невелика і ледь помітна різниця. Як видно з рисунку 3.2, різниця між двома фільтрами ледь помітна.

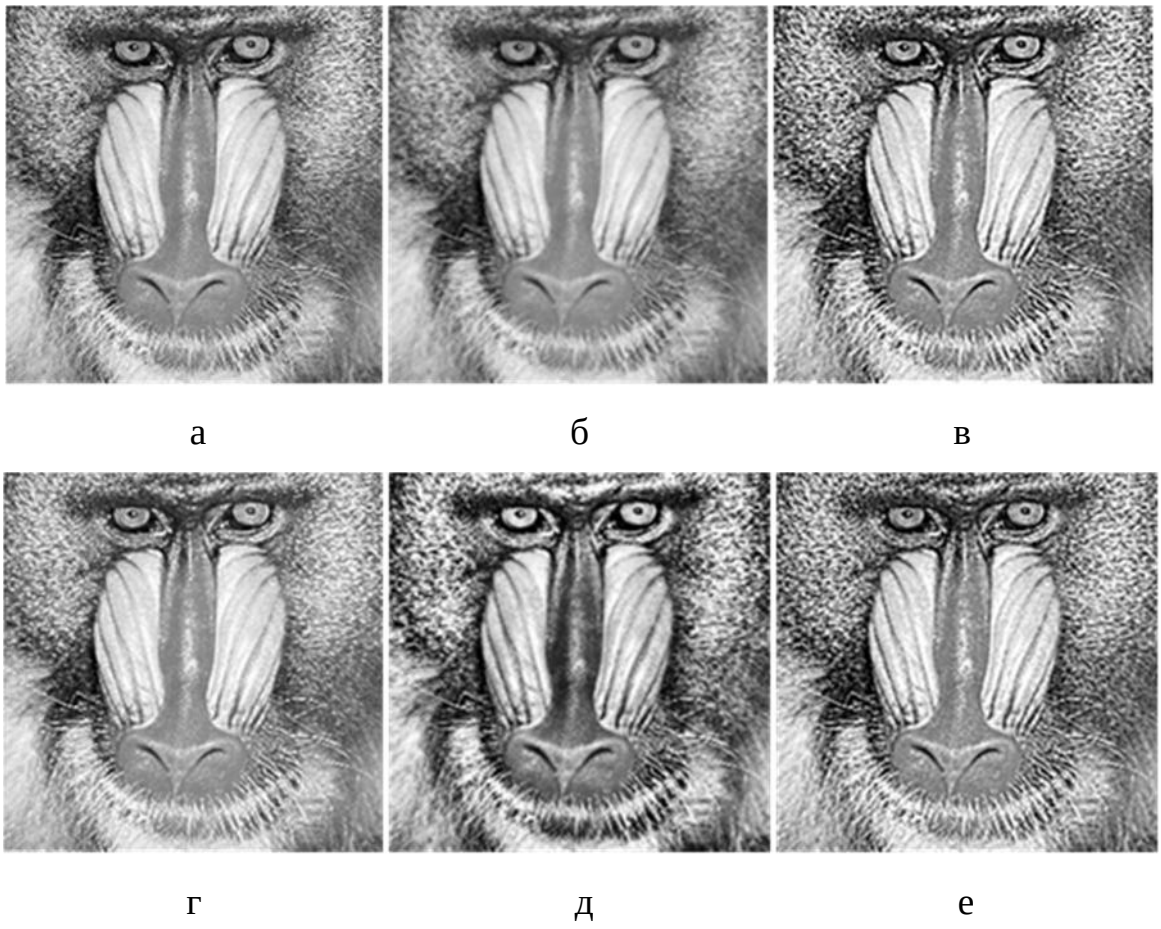


а б в

г д е

Рисунок 3.4 – Обробка синтетично деградованого зображення пропонованими і порівнянними фільтрами: (а) еталонне зображення; (б) еталонне зображення, деградоване розмиванням фільтром Гауса з σ, рівним 1,5; інші зображення обробляються: (в) TUSM з k = 2; (г) LF; (д) GUSM; (е) пропонований фільтр з k = 2.

Причина цього полягає в тому, що експериментальні зображення, які використовуються на рисунку 3.2-це реальні деградовані зображення, в яких їх розмита модель не ідентифікується. Однак зображення порівняння є штучно деградованими, і їх модель розмиття відома і встановлена як модель Гауса. Що стосується GUSM, то очевидно, що він робить добре заточені межі, але при цьому помітно змінює контраст оброблюваних зображень.



а б в

г д е

Рисунок 3.5 – Обробка штучно деградованого зображення пропонованими і порівнянними фільтрами: (а) еталонне зображення; (б) еталонне зображення, деградоване розмиванням за допомогою фільтру Гауса з σ, рівним 2; інші зображення обробляються: (в) TUSM з k = 2,5; (г) LF; (д) GUSM; (е) запропонованим фільтром з k = 2,5.

Ця модифікація контрасту може серйозно вплинути на якість відновлених зображень, змушуючи їх виглядати трохи інакше, ніж їх початкові аналоги. Це явище неприйнятне в багатьох реальних додатках візуалізації. Що стосується фільтра Лапласа, то він набрав помірні бали з точки зору показників IQA. Пропонований фільтр має багато переваг, наприклад, він має низьку структуру, дає результати без видимих ефектів і не змінює контраст оброблюваних зображень.

Таблиця 3.1 – Метричні порівняння проведених порівнянь

#	Фільтри	Рисунок	SSIM	VIFP
1	Деградоване зображення	Рис. 3.3	0.8192	0.8639
		Рис.3.4	0.6583	0.8400
		Рис.3.5	0.5791	0.7122
		Середне	0.6855	0.8053
2	TUSM	Рис. 3.3	0.8288	0.7864
		Рис.3.4	0.6862	0.7778
		Рис.3.5	0.7250	0.7289
		Середне	0.7466	0.7643
3	LF	Рис. 3.3	0.7812	0.7658
		Рис.3.4	0.6539	0.8136
		Рис.3.5	0.6751	0.7710
		Середне	0.7034	0.7834
4	GUSM	Рис. 3.3	0.7755	0.9409
		Рис.3.4	0.6567	0.8102
		Рис.3.5	0.6766	0.7472
		Середне	0.7029	0.8327
5	Пропонваний фільтр	Рис. 3.3	0.8347	0.8741
		Рис.3.4	0.6921	0.8476
		Рис.3.5	0.7231	0.7570
		Середне	0.7499	0.8262

Розробка існуючого фільтра для отримання результатів з менш помітними наслідками є складним завданням. Однак це завдання було досягнута в даному дослідженні, так як запропонований фільтр дав візуально приємні результати з природнім контрастом і прийнятною яскравістю.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи можна зробити наступні висновки.

Технічний зір − є одним із найбільш перспективних методів автоматизації будь-яких дій із застосуванням комп’ютерних технологій і робототехніки. Тому саме технічному зору та моделям підвищення якості, у нашому випадку різкості присвячена ця робота.

Різкість зображення означає будь-яку техніку поліпшення, що підвищує візуальну якість деталей зображення. Ця технологія широко використовується в фотографії та поліграфічній промисловості для поліпшення різкості цифрових зображеннях. В взагалі, існує багато причин для підвищення різкості зображення, включаючи подолання ефекту розмиття за допомогою камери та іншого обладнання, що привертає увагу до конкретної області зображення і поліпшення розбірливості.

Тому у роботі, було розглянуто загальні принципи функціонування систем технічного зору, основні параметри і характеристика відтворення зображення, а також процес формування та обробки зображення в системах технічного зору.

Проведений аналіз базових моделей підвищення різкості зображення. Приведені просторові та частотні фільтри підвищення різкості зображення, методи їх обчислення та приклади їх використання.

Також, у роботі представлений модифікований фільтр підвищення різкості цифрових зображень. Запропонований фільтр використовує традиційний білатеральний фільтр і модифікований Фільтр Баттерворта для пом’якшення зображення замість використання фільтр Гауса нижніх частот (тільки для фільтру TUSM). Цей підхід дуже допоміг уникнути появи нового покоління ефекту перевищення при одночасному забезпеченні отриманих результатів.

Пропонований фільтр має порівняльний аналіз з штучно та реально-деградованими зображеннями і порівнюється з трьома відомими фільтрами для підвищення різкості зображень. Крім того, точність отриманих результатів вимірюється за допомогою двох методів (метрики SSIM і VIFP).

Із отриманих результатів можна побачити, що запропонований фільтр забезпечив задовільні результати і перевершив порівняні фільтри, в яких він дуже добре працював з точки зору візуальної якості та метрики IQA. Відповідно, запропонований фільтр забезпечив результати, які мають природній зовнішній вигляд і відсутність видимих недоліків. Такі прийнятні результати можуть підтримати популярність розробленого фільтру.

Використання методів низької складності для підвищення різкості зображення, бажана в багатьох існуючих системах, особливо в тих, хто має в своєму розпорядженні мінімальні ресурси.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гонсалес Р. Цифрова обробка зображень Р. Гонсалес // М.: Техносфера - 2005 р. - С. 1072.

2. Горелік А. Г. Методи розпізнавання / А. Г. Горелік, В. А. Скрипкін // М.: Вища школа - 1984 р. - С. 208.

3. Шутілов А. І. Оптимизация показателей эффективности многоспектрального приёмника оптических сигналов / Шутілов А. І. ,К. тех. н., М. А. Мерзляков, Д. Н. Філіппов // Сучасні інформаційні системи. - 2019, Т.3, №2 – С.22-27.

4. Системи технічного зору (принципові основи, апаратне і математичне забезпечення) / А. Н. Писаревський, А.Ф. Чернявський, г. к. Афанасьєв та ін.; Під заг. ред. А. Н. Писаревського, А. Ф. Чернявського //Л.: Машинобудування - 1988р. С. 9-40

5. Залогова, Л. А. Комп’ютерна графіка [Текст]. / Практикум. – 2005. – Т. 20, №2 – С. 254.

6. Цифрове перетворення зображень: Учеб. посібник для вузів / Р. Е. Биков, р. Фрайер, К. В. Іванов, А. а. Манцветов; під ред. професора Р. Е. Бикова. // М.: Гаряча лінія-Телеком − 2003р. С. 147-199.

7. Banham M. Digital image restoration/ M. Banham A. Katsaggelos // IEEE Signal Processing Magazine,vol. 14, no. 2. − 1997. pp. 24-41,

8. Kim K. Single-image super-resolution using sparse regression and natural image prior / K. Kim, Y. Kwon // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 32, no. 6. − 2010.pp. 1127-1133.

9. Wilscy M. A new method for sharpening color images using fuzzy approach/ M. Wilscy, M. Nair // Lecture Notes in Computer Science. −2008. − vol. 5112. − pp. 65-74,

10. Webb G. Sharpness issues in colour printing // The Journal of Photographic Science. − 1989. − vol. 38, no. 4-5. − pp. 173- 176,

11. Schavemaker J. Image sharpening by morphological filtering / J. Schavemaker, M. Reinders, J. Gerbrands, E. Backer, Pattern Recognition. – 2000. − vol. 33, no. 6. − pp. 997-1012.

12. A. Carasso The APEX method in image sharpening and the use of low exponent Lévy stable laws / SIAM Journal on Applied Mathematics. − 2003. − vol. 63, no. 2. − pp. 593-618.

13. Kim S. Optimal unsharp mask for image sharpening and noise removal / S. Kim,J. Allebach // Journal of Electronic Imaging. − 2005. − vol. 14, no. 2. − pp. 1-13.

14. Millán M. Color image sharpening inspired by human vision models / M. Millán and E. Valencia // Applied Optics. − 2006. − vol. 45, no. 29. − pp. 7684-7697.

15. Fu S. A feature-dependent fuzzy bidirectional flow for adaptive image sharpening/ S. Fu, Q. Ruan, W. Wang, F. Gao, H. Cheng // Neurocomputing. − 2007. − vol. 70, no. 4-6. − pp. 883-895.

16. Fu S. A shock-diffusion equation with local coupling term for image sharpening / S. Fu, Q. Ruan, W. Wang // Journal of Optoelectronics Laser. – 2007. − vol. 18, no. 2. − pp. 245- 253.

17. Ibrahim H. Image sharpening using subregions histogram equalization / H. Ibrahim, N. Kong // IEEE Transactions on Consumer Electronics. − 2009. − vol. 55, no. 2. − pp. 891-895.

18. Calder J. Image sharpening via Sobolev gradient flows / J. Calder, A. Mansouri, A. Yezzi // SIAM Journal on Imaging Sciences. − 2010. − vol. 3, no. 4. − pp. 981-1014 .

19. Skoneczny S. Nonlinear image sharpening in the HSV color space / Przeglad Elektrotechniczny (Electrotechnical Review) . − 2012. − vol. 88, no. 2. − pp. 140- 145.

20. Bezzubik V. Multiscale differential method for digital image sharpening / V. Bezzubik, N. Belashenkov, G. Vdovin, N. Karmanovsky, O. Soloviev // Naucno-tehniceskij Vestnik Informacionnyh Tehnologij. − vol. 14, no. 6. − pp. 82-

90. − 2014.

21. Zafeiridis P. A new sharpening technique for medical images using wavelets and image fusion / P. Zafeiridis, N. Papamarkos, S. Goumas, I. Seimenis // Journal of Engineering Science & Technology Review. − 2016.− vol. 9, no. 3. − pp.187-200.

22. Zuo C. New temporal high-pass filter nonuniformity correction based on bilateral filter / C. Zuo, Q. Chen, G. Gu, W. Qian // Optical Review. − 2011.− vol. 18, no. 2. − pp. 197- 202.

23. Dogra A. Image sharpening by Gaussian and Butterworth high pass filter / A. Dogra, P. Bhalla // Biomedical and Pharmacology Journal. − 2014. − vol. 7, no. 2. − pp. 707-713.

24. Polesel A. Image enhancement via adaptive unsharp masking / A. Polesel, G. Ramponi, V. Mathews // IEEE Transactions on Image Processing vol. 9, no. 3, pp. 505- 510, 2000.

25. G. Cao, Y. Zhao, R. Ni and A. Kot, "Unsharp masking sharpening detection via overshoot artifacts analysis", IEEE Signal Processing Letters. − 2011. − vol. 18, no. 10. − pp. 603- 606.

26. Panetta K. Nonlinear unsharp masking for mammogram enhancement / K. Panetta, Y. Zhou, S. Agaian, H. Jia // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. − vol. 15, no. 6. − pp. 918-928. − 2011.

27. C. Yang, "Finest image sharpening by use of the modified mask filter dealing with highest spatial frequencies", Optik - International Journal for Light and Electron Optics. − vol. 125, no. 8. − pp. 1942-1944. − 2014.

28. Wang Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing. − 2004.. − vol. 13, no. 4. − pp. 600-612.

30. Sheikh H. Image information and visual quality / H. Sheikh, A. Bovik // IEEE Transactions on Image Processing. − 2006. − vol. 15, no. 2. − pp. 430-444.