

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод обробки та фільтрації зображень
в комп'ютерній системі

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-22-1
Скрипка Я.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Міхаль О.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

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

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Скрипці Ярославу Вадимовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод обробки та фільтрації зображень в комп'ютерній системі

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1299 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 15 січня 2024 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

зображення _____

фільтрація зображень _____

методи поліпшення зображення _____

моніторинг трафіка _____

згладжування зображення _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Існуючі проблеми обробки та фільтрації цифрових зображень _____

Методи обробки та покращення якості зображень _____

Використання розроблених методів для обробки та фільтрації зображень _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 12 слайдів

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	Отримання завдання та аналіз джерел за темою роботи	06.11.2023–15.11.2023	
2	Аналіз існуючих методів обробки зображень	16.11.2023–25.11.2023	
3	Розробка нового або модифікація існуючого методу поліпшення зображення	25.11.2023–10.12.2023	
4	Програмна реалізація розробленого або модифікованого методу	11.12.2023–25.12.2023	
5	Аналіз отриманих результатів	26.12.2023–05.12.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї		

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Міхаль О.П.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 67 с., 23 рис., 2 дод., 16 джерела.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА, ФІЛЬТРАЦІЯ, ЗОБРАЖЕННЯ, КОРЕГУВАННЯ, ПОЛПШЕННЯ, ОБРОБКА ДАНИХ, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз методів та моделей обробки та фільтрації зображень в комп'ютерній системі та розробка методу корекції зашумленого зображення.

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз методів та моделей обробки та фільтрації зображень в комп'ютерній системі. З використанням базової та модифікованої моделі гардаційної корекції розроблено метод корекції зашумленого зображення, який передбачає згладжування в однорідній околиці. Основна ідея методу полягає в тому, щоб наблизити яскравість кожного пікселя зображення до середнього значення відповідної йому лінії рівня в околиці. Також проведено аналіз існуючих методів та моделей фільтрації та обробки зображення, а також моделей корекції та підвищення різкості. Розроблені відповідні програмні засоби корекції зображення, за допомогою яких проведено обчислювальний експеримент, який, в свою чергу, довів ефективність розробленого методу.

ABSTRACT

Master's thesis: 67 pages, 23 figures, 2 appendices, 16 sources.

COMPUTER SYSTEM, FILTERING, IMAGING, ADJUSTMENT, ENHANCEMENT, DATA PROCESSING, SOFTWARE.

The major goal of this thesis is to analyze methods and models of image processing and filtering in a computer system and to develop a method for correcting a noisy image.

In the course of the qualification work, the methods and models of image processing and filtering in the computer system were analyzed. Using the basic and modified models of girding correction, a method for correcting a noisy image has been developed, which involves smoothing in a homogeneous neighborhood. The main idea of the method is to approximate the brightness of each pixel of the image to the average value of the corresponding level line in the neighborhood. An analysis of existing methods and models of image filtering and processing, as well as correction and sharpening models, was also carried out. Appropriate software tools for image correction were developed, with the help of which a computational experiment was conducted, which, in turn, proved the effectiveness of the developed method.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ	11
1.1 Тенденції розвитку обробки зображень.....	11
1.2 Можливі вдосконалення існуючих методів	21
2 МЕТОДИ ОБРОБКИ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ	23
2.1 Використання фільтрації шумів під час обробки	23
2.2 Узагальнена модель градаційної корекції зображення	24
2.3 Використання згладжування при обробці зображень	26
2.4 Ефективна дискримінація пікселів.....	28
2.5 Вибір критеріїв ефективності обробки та фільтрації	33
3 ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ.....	36
3.1 Корекція зображення за допомогою градаційних моделей	36
3.1.1 Модель ГК.....	36
3.1.2 Поліпшення ГК.....	39
3.1.3 Експоненціально-логарифмічна модель ГК.....	41
3.1.4 Аналіз ефективності.....	45
3.2 Аналіз розроблених методів	50
3.3 Оцінки обчислювальної ефективності методу комплексного поліпшення якості зображення.....	54
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	58
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

ГК – градаційна корекція

ММГК – метод з використанням моделі градаційної корекції

ПЗ – програмний засіб

ВСТУП

Алгоритми реєстрації зображень використовуються в комп'ютерному баченні, методах медичної візуалізації, у військовій справі для автоматичного розпізнавання цілей, для впорядкування та аналізу зображень із супутників. Реєстрація необхідна для того, щоб мати можливість порівнювати або інтегрувати дані, що отримані з різних пристроїв реєстрації. У сучасних інформаційних системах зображення передають, зберігають та обробляють переважно у цифровій формі, але первинні зображення здебільшого існують у вигляді безперервних двовимірних полів розподілу яскравості та кольору.

Перетворення первинних зображень у цифрові сигнали є обов'язковою операцією, якщо передбачається використати цифрову обробку, передачу, зберігання. Таке перетворення складається із двох процедур, які здійснюють одночасно. При цьому використання цифрової апаратури дозволяє отримувати і оперативно передавати аерофотознімки з високою роздільною здатністю в центр обробки даних для їх дешифрування [1-3].

Залежно від умов отримання зображення для цілей його поліпшення на етапі попередньої обробки може вирішуватися надзвичайно широкий спектр завдань, основними з яких є завдання поступової корекції, фільтрації шуму, згладжування і підвищення різкості [4, 5].

В даний час практично у всіх додатках, пов'язаних з обробкою цифрових зображень, в більшій або в меншій мірі доводиться вирішувати завдання їх поліпшення [6-8]. В силу наявності більш, чи менш вагомих спотворень знімка. В таких умовах часто виникають проблеми з адекватним сприйняттям, дешифруванням і ефективною сегментацією об'єктів на знімку в сенсі не виявлення слабо контрастних об'єктів; при цьому істотно зростає трудомісткість дешифрування слабо контрастних об'єктів на знімку [1, 9, 10].

При аналізі даних аерофотознімання така ситуація складається не так

вже й рідко. В результаті стає неможливим використовувати сучасні системи комп'ютерного зору для аналізу зашумлених слабо контрастних зображень. Стає неможливим оперативно надавати адекватні результати аналізу оброблюваних знімків [11-14].

Подібна ситуація негативним чином відбивається і на можливостях передачі даних по каналах зв'язку. Вся справа в тому, що для зниження часу передачі знімки стискаються [1, 2, 15]. Наявність істотного шуму на зображенні не дозволяє ефективно стискати знімки, а застосування стиснення до знімка, який містить слабо контрастні об'єкти, призводить до додаткової втрати їх контрастності, що неприпустимо [16, 17].

В цілому аналіз сучасного стану питання показує, що за останні кілька десятирічній розроблено воістину величезна кількість методів градаційної корекції, фільтрації шуму і згладжування, а також підвищення різкості, які враховують різноманітні особливості знімків [1-3, 18, 19].

Разом з тим при такому розмаїтті потрібно витратити величезний час на вибір і налаштування моделей на особливості оброблюваних знімків. З огляду на можливі варіації умов отримання даних, в такій ситуації просто неможливо побудувати уніфіковану інформаційну технологію комплексного поліпшення зображення. Тому методи і інформаційну технологію поліпшення зображення необхідно вибирати і налаштовувати для кожного знімка окремо, що вимагає великих витрат часу. Виникнення такої ситуації призводить до того, що тривалість аналізу аерофотознімки може перевищувати гранично допустиме значення. Крім того, існує ряд окремих проблем градаційної корекції і підвищення різкості, виникнення яких приводить до збільшення часу і зростання ймовірності появи помилок інтерпретації аерофотознімків.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз методів та моделей обробки та фільтрації зображень в комп'ютерній системі та розробка методу корекції зашумленого зображення.

Об'єктом дослідження є методи обробки та фільтрації зображень.

Завдання:

- аналіз існуючих методів та моделей фільтрації та обробки зображення;
- аналіз моделей корекції та підвищення різкості;
- розробка відповідної програмних засобів корекції зображення;
- проведення експерименту;
- порівняльний аналіз запропонованого методу з аналогами.

1 ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Тенденції розвитку обробки зображень

В даний час попередня обробка є найважливішим початковим етапом обробки цифрового зображення. В рамках попередньої обробки компенсуються недоліки, усуваються дефекти і поліпшується якість зображення для його найкращого сприйняття при візуальному аналізі та максимальної ефективності подальшої машинної обробки [1, 5, 9].

Залежно від умов отримання зображення для поліпшення його якості на етапі попередньої обробки може вирішуватися надзвичайно широкий спектр завдань. Основні з них – це завдання поступової корекції, фільтрації шуму, згладжування і підвищення різкості.

В таких умовах, якщо говорити про окремі завдання поліпшення якості зображень, найбільші проблеми виникають з адекватним підвищенням різкості зображень в силу ряду властивостей сучасних фільтрів різкості.

Тому в рамках цього розділу основна увага буде приділена аналізу актуальних завдань і проблем підвищення різкості і градаційній корекції зображень [1-3, 5, 9]. Отже, підвищення різкості служить для того, щоб підкреслити (контрастувати) дрібні деталі і об'єкти на знімку (рисунок 1.1), а також для того, щоб покращити сприйняття тих об'єктів, які були розфокусувати в силу ряду причин [1, 2, 4]. В цьому відношенні важливо відзначити, що отримання різких контурів і хороша деталізація об'єктів життєво необхідні для мінімізації ймовірностей виникнення помилок першого і другого роду при типологічну класифікацію об'єктів в ході аналізу аерофотознімків.

Практично ідеальним методом підвищення різкості вважається метод, заснований на обробці результатів накопичення зображень [1, 5].



Рисунок 1.1 – Підвищення різкості фото зі супутника

Суть цього методу полягає в тому, щоб для фіксованого положення фотокамери отримати n знімків об'єкта, а потім окремо обробити значення яскравості пікселів цих зображень з однаковими координатами. Як правило, зафіксувавши координати (x, y) , на основі розподілу $\{f_i(x, y)\}_{i=1, \dots, n}$, будують гістограму частотей появи значень яскравості в пікселі (x, y) вибіркового зображення.

Після цього застосовують заданий критерій виключення екстремальних спостережень, наприклад, $k \cdot \sigma$ -критерій, критерій Граббса, або критерій Тітьєна-Мура. Після видалення k екстремальних спостережень на новому розподілі $\{f_i(x, y)\}_{i=1, \dots, n'}$ знаходять найбільш ймовірне значення яскравості пікселя з координатами (x, y) , яке, як правило, оцінюється величиною математичного очікування яскравості виду $m = \frac{1}{n'} \cdot \sum_{i=1}^{n'} f_i(x, y)$, як це показано на рисунку 1.2.

При можливості обробки досить великого числа зображень, при $n \geq 24$ [1], закон розподілу $P(f)$ яскравості f для кожного пікселя (x, y) зображення дуже близький до нормального закону розподілу виду

$$P(f, \sigma, m) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{-(f-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1.1)$$

що дозволяє використовувати для виключення екстремальних спостережень добре вивчені критерії $k \cdot \sigma$ -критерій, критерій Граббса, або критерій Тітьєна-Мура, а також оперативну і адекватну апроксимувати яскравість $f(x, y)$ в пікселі (x, y) за середнім після застосування процедури виключення екстремальних спостережень.

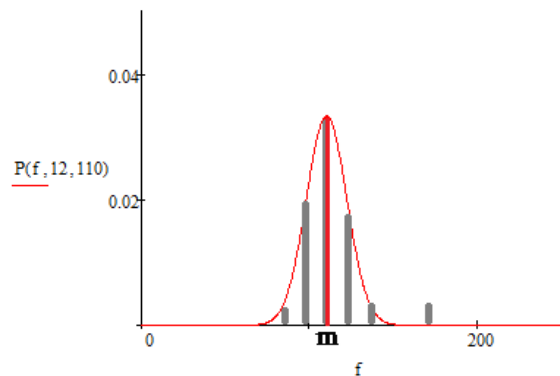


Рисунок 1.2 – Апроксимація яскравості пікселя за результатами накопичення

При цьому описаний метод обробки результатів накопичення зображень дозволяє одночасно з підвищенням різкості усунути шум зображення, що надзвичайно важливо, оскільки існуючі методи підвищення різкості нестійкі до шуму. Однак сфера застосування накопичення зображень в даний час є досить вузькою, оскільки при вирішенні багатьох практичних завдань отримати необхідну вибірку з зображень не представляється можливим.

Тому в даний час в якості основних застосовуються методи, засновані на використанні операторів просторового диференціювання [1-4, 9, 10]. Застосування таких операторів дозволяє посилити значущі перепади яскравості на границях об'єктів з фоном, а також дрібні деталі і шуми на знімку, і не посилювати області з повільною зміною рівня яскравості [1]. Далі в ході аналізу таких операторів буде показано, що ця особливість їх застосування не є їхньою перевагою, оскільки на практиці потрібно

посилювати слабо контрастні межі об'єктів на знімку, шуми необхідно придушувати, а всі інші пікселі не чіпати взагалі.

Канонічне підвищення різкості. Отже, для побудови фільтрів різкості в даний час використовуються оператори просторового диференціювання, які: на ділянках з постійною яскравістю повинні давати нуль, а в місцях розриву яскравості – значимий відгук. Для цих цілей для порядкової обробки знімка використовується перша похідна виду

$$df/dx = f(x + 1) - f(x) , \quad (1.2)$$

яка, крім висунутих вище умов, на ділянках з постійною швидкістю зростання (спадання) функції яскравості не дає нуль; тут x – це координата пікселя, а f – функція яскравості в цьому пікселі [1, 9].

Крім першої похідної для контрастування при порядкової обробці знімка використовується друга похідна виду

$$d^2f/dx^2 = f(x + 1) + f(x - 1) - 2 \cdot f(x), \quad (1.3)$$

яка, крім висунутих вище умов, на ділянках з постійною швидкістю зростання (спадання) функції яскравості дає нуль [1, 2].

В даний час вважається, що при вирішенні більшості прикладних задач використання другої похідної краще використання першої похідної тому, що використання другої похідної дає краще підсилення дрібних об'єктів і деталей. При цьому перша похідна в основному використовується для підкреслення меж об'єктів на знімку [1].

Найбільш очевидним і простим ізотропним оператором, заснованим на використанні другої похідної, є широко відомий лапласіан [1]; для функції яскравості $f(x, y)$, яка залежить від двох просторових координат (x, y) , лапласіан визначається так

$$\nabla f = d^2 f / dx^2 + d^2 f / dy^2. \quad (1.4)$$

При застосуванні цього виразу для обробки дискретного зображення переходять до розгляду кінцевих різниць виду

$$d^2 f / dx^2 = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) - 2 \cdot f(x, y), \quad (1.5)$$

$$d^2 f / dy^2 = f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 2 \cdot f(x, y). \quad (1.6)$$

При цьому дискретний вигляд лапласіану представляють так [1]

$$\nabla^2 f = (f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 4 \cdot f(x, y)). \quad (1.7)$$

Для цілей подальшої цифрової обробки вираз (1.7) представляють маскою фільтра (рисунок 1.3).

Застосування оператора Лапласа на цифровому зображенні підкреслює розриви яскравості, які властиві границь об'єктів і ліній, і дає зображення відгуків, яке має вигляд сірих ліній в області границь зображень об'єктів з різким перепадом яскравості; інші пікселі зображення, відповідні внутрішності об'єктів і фону без різких стрибків яскравості мають чорний колір. Тепер якщо скласти вихідне зображення і зображення відгуків Лапласіану отримаємо зображення з контрастними границями об'єктів.

Узагальнений алгоритм використання Лапласіану [1] зводиться до застосування правила контрастування виду

$$h(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), \quad (1.8)$$

за умови, що ваговий коефіцієнт $c(\xi, \eta)$ в центрі маски (ξ, η) менше нуля; інакше знак перед лапласіаном змінюється на протилежний знак.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

а) б)

Рисунок 1.3 – Маски фільтра дискретного оператора Лапласа [1]

У деяких джерелах вважається, що процедуру підвищення різкості можна виробляти без поступової корекції на основі виразу, отриманого підстановкою виразу (1.7) в вираз (1.8) виду

$$h(x, y) = 5 \cdot f(x, y) - (f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1)), \quad (1.9)$$

або із застосуванням маски фільтра, представленої на рисунку 1.4.

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

а) б)

Рисунок 1.4 – Складові маски фільтра дискретного лапласіану згідно [1]

Однак результати теоретичного аналізу і простого чисельного експерименту показують, що використання такого оператора є некоректним, оскільки вираз (1.9) є ненормованим і величина відгуку може виходити за межі допустимих значень. Тому застосування описаного вище фільтра

різкості має включати умову нормування, або окремий етап поступової корекції значень яскравості відгуку, хоча б за рахунок простого відсікання яскравостей, що виходять за межі допустимих значень, коли неприпустимі значення яскравості замінюються максимально допустимими значеннями.

Нерізке маскуваннн і фільтрація з підйомом високих частот. Уже багато років для підвищення різкості зображень в поліграфії використовується прийом, який називається нерізким маскуванннм [1].

Суть цього прийому полягає в тому, щоб для зображення $f(x, y)$ спочатку побудувати його розфокусовану копію $r(x, y)$, а потім отримати зображення $h(x, y)$ з підвищеною різкістю так

$$h(x, y) = f(x, y) - r(x, y). \quad (1.10)$$

Після згладжування, яскравості пікселів внутрішності об'єктів і фону будуть мало відрізнятися від яскравості відповідних їм пікселів розфокусованої копії. Навпаки, яскравості пікселів границі будуть відрізнятися значно. Тому після вирахування (1.10) різниці для границі матимуть великі значення, а для внутрішності – маленькі значення.

Фільтрація з підйомом високих частот є узагальненням процедури нерізкого маскуванннм [1]. Ця операція проводиться так

$$h'(x, y) = k \cdot f(x, y) - r(x, y), \quad k \geq 1; \quad (1.11)$$

$$h'(x, y) = (k - 1) \cdot f(x, y) + [f(x, y) - r(x, y)] = (k - 1) \cdot f(x, y) + h(x, y). \quad (1.12)$$

Зауважимо, що у виразах (1.10) – (1.12) не визначене правило обчислення розфокусованої копії $r(x, y)$. Тому оператор для отримання зображення може вибиратися для розв'язання прикладної задачі індивідуально. В якості такого оператора може вибиратися і лапласіан. В

таких умовах, узагальнений алгоритм використання Лапласіану [1, 9] зводиться до застосування правила контрастування виду

$$h(x, y) = k \cdot f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), \quad (1.13)$$

за умови, що ваговий коефіцієнт $c(\xi, \eta)$ в центрі маски (ξ, η) менше нуля; інакше знак перед лапласіаном змінюється на протилежний знак.

У такій ситуації підвищення різкості зображення може проводитися із застосуванням маски фільтра, представленої на рисунку 1.5.

Застосування фільтра з підйомом високих частот виду (1.11) – (1.13) служить для обробки неконтрастних зображень, загальний рівень яскравості яких нижче, ніж це необхідно для цілі аналізу. Зауважимо, що з ростом коефіцієнта k , ефект підвищення різкості зменшується.

Розглянемо прийом поліпшення зображення із застосуванням операторів, заснованих на використанні першої похідної.

0	-1	0
-1	$k+4$	-1
0	-1	0

а)

-1	-1	-1
-1	$k+8$	-1
-1	-1	-1

б)

Рисунок 1.5 – Маски фільтра для підйому високих частот [1]

Оператори, засновані на використанні першої похідної, як правило [1, 9], використовують модуль градієнта функції яскравості виду

$$\nabla f(x, y) = \left(\frac{df}{dx}, \frac{df}{dy} \right). \quad (1.14)$$

Модуль розглянутого оператора градієнта (1.14), який використовується в розрахунках, визначається так

$$\mu = |\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2}. \quad (1.15)$$

В силу того факту, що операція витягання квадратного кореня в (1.15) є набагато більш трудомісткою, ніж арифметичні операції додавання, множення і інші, замість виразу (1.15) для оцінювання величини градієнта на практиці часто користуються виразом

$$\mu \approx \left|\frac{df}{dx}\right| + \left|\frac{df}{dy}\right|. \quad (1.16)$$

В даний час для практичного застосування першої похідної застосовуються різноманітні маски [1, 2, 3, 9].

Найчастіше в літературі практичне застосування першої похідної ілюструється із застосуванням сімейства масок обертання, наприклад, масок Робертса, масок Собела або Превіт (рисунок 1.6). Ці маски так і задаються сімейством, оскільки оператор першої похідної не є інваріантним до повороту.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

а)

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

б)

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

в)

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

г)

Рисунок 1.6 – Маски обертання оператора Собела [1, 9]

При цьому для оцінювання величини градієнта $\nabla f(x, y) = \nabla f$ спрямовані маски використовуються так

$$|\nabla f| = | (f_{\xi-1,\eta+1} + 2f_{\xi,\eta+1} + f_{\xi+1,\eta+1}) - (f_{\xi-1,\eta-1} + 2f_{\xi,\eta-1} + f_{\xi+1,\eta-1}) | + \\ + | (f_{\xi+1,\eta-1} + 2f_{\xi+1,\eta} + f_{\xi+1,\eta+1}) - (f_{\xi-1,\eta-1} + 2f_{\xi-1,\eta} + f_{\xi-1,\eta+1}) |, \quad (1.17)$$

де індексація яскравостей знімка приведена на рисунку 1.7.

Тепер розглянемо комбіновані методи поліпшення зображення. При вирішенні нетривіальних завдань розглянуті вище підходи (засновані на використанні градієнта, лапласіану, згладженої копії і градаційний перетворень) самі по собі рідко дають прийнятні результати. Тому в даний час ці перетворення застосовуються в комплексі. При цьому лапласіан застосовується для підкреслення дрібних деталей і кутів, а градієнт - для підкреслення меж.

$f_{\xi-1,\eta-1}$	$f_{\xi,\eta-1}$	$f_{\xi+1,\eta-1}$
$f_{\xi-1,\eta}$	$f_{\xi,\eta}$	$f_{\xi+1,\eta}$
$f_{\xi-1,\eta+1}$	$f_{\xi,\eta+1}$	$f_{\xi+1,\eta+1}$

Рисунок 1.7 – Відносні координати яскравостей пікселів околиці [1]

Особливості застосування такого комплексного підходу описані в [1, 9] на прикладі поліпшення рентгенівського знімка скелета людини.

Методи градаційної корекції. Рішення задач підвищення різкості зображення не відповідає очікуваній додатках нерозривно пов'язане із застосуванням методів градаційної корекції, що використовуються для: 1) зміни динамічного діапазону яскравості (для освітлення / затемнення знімків) з метою поліпшення сприйняття знімка, 2) підвищення різкості, 3) нормування динамічного діапазону яскравості після застосування ненормованих операторів підвищення різкості зображення [1, 2, 9].

За замовчуванням градаційна корекція часто проводиться на основі використання полінома першого ступеня виду

$$f(x) = a + b \cdot x. \quad (1.18)$$

Градаційна корекція проводиться на основі аналізу гистограми яскравості зображення. При цьому побачити і оцінити такі перетворення можна не тільки на самому зображенні, але і на гистограмі зображення, яка вже довгий час є основою для застосування сучасних методів обробки цифрових зображень [1, 2, 5, 9].

1.2 Можливі вдосконалення існуючих методів

Як показує проведений аналіз, на фоні ряду достоїнств сучасні фільтри мають ряд суттєвих недоліків [1, 2, 9]. По-перше, ці фільтри не орієнтовані на підвищення різкості за рахунок виявлення та усунення пікселів тіні зображення об'єкта [5, 11]. Реалізація такого підходу дозволила б природним чином підвищувати різкість зображень об'єктів на знімку без необхідності спотворення яскравості в області кордонів. Хоча морфологічні фільтри та орієнтовані на усунення перепадів яскравості між об'єктом і фоном, проте, застосування таких фільтрів на практиці не орієнтоване на усунення тіні об'єкта і призводить до побудови ступенів на зображенні з різкими перепадами яскравості між ними як на кордоні, так і у нутрощі об'єктів і фону; зображення в результаті стає схожим на акварельний рисунок. При цьому області шумових викидів значно розширюються [1, 2, 9].

По-друге, існуючі фільтри різкості значимо підкреслюють лише контрастні перепади яскравості, які і так є видимими; при цьому слабо контрастні об'єкти залишаються такими.

Крім того, використання сучасних моделей підвищення різкості, призводить до виникнення проблем отримання асиметричних оцінок і стиснення інформативного діапазону яскравості знімка, зниження різкості слабо контрастних об'єктів, прояви помітного ефекту ареалу кордону.

Що важливіше, в даний час відсутня системна модель і технологія комплексного застосування існуючих методів поліпшення якості цифрового зображення [1, 2, 11].

Для вирішення цих найважливіших проблем планується розвивати такі основні напрямки досліджень.

В першу чергу важливо побудувати уніфіковані модель і метод поступової корекції зображення, використання яких дозволить одночасно виробляти тонову корекцію, підвищення різкості і нормування яскравості знімка для довільних вхідного і вихідного інтервалів яскравості.

Оскільки методи підвищення різкості нестійкі до шуму зображення, далі доцільно описати застосування моделей і методів фільтрації (згладжування) шуму зображень на основі використання фільтрів, що дозволяють згладжувати яскравості в попередньо побудованої однорідної околиці, що забезпечує рішення ключової проблеми фільтрації – не згладжування границь об'єктів і ліній.

При цьому в якості основного завдання будемо розглядати побудову уніфікованого методу підвищення різкості зображення у цифровому форматі, заснованого на використанні перерахованих вище існуючих і перспективних приватних моделей. Оскільки підвищення різкості за рахунок обробки результатів накопичення зображень можливо лише при вирішенні ряду специфічних завдань, цей підхід розглядатися не буде.

При цьому основне завдання буде полягати в тому, щоб побудувати таку модель підвищення різкості, яка забезпечить не виникнення проблем отримання асиметричних оцінок і стиснення інформативного діапазону яскравості знімка, зниження різкості слабо контрастних об'єктів, прояви помітного ефекту ареалу границі.

На цій основі буде побудований метод комплексного поліпшення якості зображення, який здатний налаштовуватися на властивості знімка, і узгоджено виконувати його поступову корекцію, фільтрацію, згладжування і підвищення різкості для умов значущих варіацій властивостей зображення.

2 МЕТОДИ ОБРОБКИ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1 Використання фільтрації шумів під час обробки

В даний час вважається, що методи підвищення різкості зображень нестійкі до зашумлення: підвищення різкості в умовах зашумлення призводить до значущого посилення шумів на знімку. Тому в умовах зашумлення доцільно, спочатку згладити шуми і тільки після цього робити підвищення різкості зображення.

На сьогоднішній день одним з кращих є уніфікований метод згладжування шуму в неоднорідній околиці (*ns* -метод). Цей метод дозволяє ефективно ідентифікувати поодинокі і групові шуми на зображенні, будувати однорідну околиця в області шуму і адекватно згладжувати шум в однорідній околиці із застосуванням фільтра усіченого середнього (*tm* -фільтра)

$$h = \left\lfloor \frac{1}{n-2 \cdot k} \sum_{i=1+k}^{n-k} f_i \right\rfloor, 2 \cdot k < n, \quad (2.1)$$

де h – згладжена яскравість шуму, $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яскравості однорідної околиці шуму, $2 \cdot k$ – число виключених з розгляду пікселів з найбільшою і найменшою яскравістю в ряду $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$, n – загальна кількість пікселів в однорідній околиці шуму.

Принцип роботи фільтра усіченого середнього полягає в наступному:

а) на першому етапі ряд яскравостей $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ впорядковується, таким чином, щоб вивести в його початок k мінімальних, а в його кінець k максимальних яскравостей;

б) на другому етапі, на множені яскравостей ряду $\{f_i\}_{i=1+k, \dots, n-k}$ застосовується середньоарифметичний фільтр [1, 5, 9].

Зауважимо, що при граничних значеннях параметра k фільтр (2.1) буде представляти собою або середньоарифметичний фільтр (якщо $k = 0$), або медіанний фільтр (якщо $k = (n - 1)/2$) [1, 5, 9].

Залежно від налаштувань параметрів ns -метод дозволяє не тільки ефективно згладжувати поодинокі і групові шуми, але і не згладжувати при цьому границі об'єктів і лінії.

Таким чином, якщо спеціально не обумовлено інше, на першому етапі обробки зображення будемо фільтрувати шум із застосуванням ns -методу.

2.2 Узагальнена модель градаційної корекції зображення

В даний час методи градаційної корекції використовуються в основному для освітлення або затемнення знімків з метою поліпшення їх візуального сприйняття.

При вирішенні практичних завдань з метою плавної градаційної корекції найчастіше використовують поліном першого ступеня виду, або синусоїду (рисунок 2.1.а) виду

$$f(x) = \frac{255}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{255} \cdot x - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{255}{2}. \quad (2.2)$$

При цьому параметри моделей градаційної корекції вибираються так, щоб значення яскравості вихідного зображення, що визначаються в діапазоні $[0, 255]$, перетворювати на такий же діапазон значень яскравості.

Для нелінійної градаційної корекції широко використовуються логарифмічна, експоненціальна і статечна функції. Так, для діапазону яскравостей $[0, 255]$, експоненціальна і логарифмічна моделі поступової корекції зображення (рисунок 2.1.б) найчастіше представляються так

$$\begin{cases} \exp(x) = e^{k \cdot x} - 1, \\ l(x) = k^{-1} \cdot \ln(x + 1), \\ k = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}. \end{cases} \quad (2.3)$$

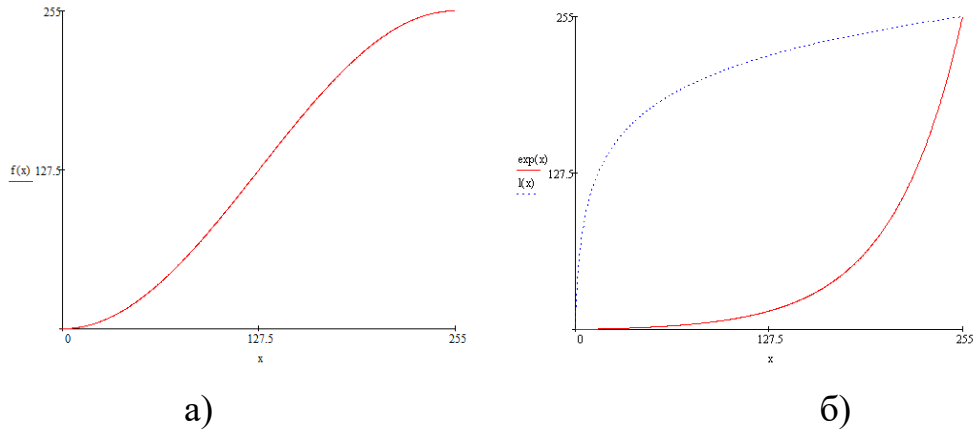


Рисунок 2.1 – Моделі градаційної корекції зображення: синусоїдальна (а), експоненціальна і логарифмічна (б)

При цьому застосування моделі (2.3) може призводити до значного посилення фонового шуму і до необхідності повторної фільтрації шуму.

При виконанні градаційної корекції відповідно лінійної моделі і моделям (2.2) і (2.3) часто не беруться до уваги можливості підвищення різкості, нормування яскравості, корекції виділеного діапазону яскравості вихідного зображення, а також ряд інших важливих міркувань.

Якщо спеціально не обумовлено інше, будемо вважати, що в рамках перспективної технології поліпшення якості знімка, спочатку, при необхідності, фільтрується шум вхідного зображення, а потім проводиться поступова корекція цього зображення. Такий підхід у багатьох практично значущих випадках дозволяє не тільки значимо покращувати якість знімка по ряду критеріїв, але і домагатися отримання знімка необхідної якості без необхідності подальшого застосування будь-яких методів поліпшення якості зображення.

2.3 Використання згладжування при обробці зображень

Для цілей згладжування варіацій яскравості в пікселях зображення пропонується використовувати наступний метод.

Метод побудови однорідних ліній рівня зображення (*llb* -метод).

Основна ідея методу полягає в тому, щоб наблизити яскравість кожного пікселя зображення до середнього значення відповідної йому лінії рівня в околиці $O_\varepsilon(i, j)$.

Крок 1. У околиці $O_\varepsilon(i, j)$ пікселя (i, j) , знаходяться найближчі до значення $f(i, j)$ яскравості $\{f_\xi\}_{\xi=1, \dots, m}$ пікселів, числом $m = 2 \cdot \varepsilon + 1$, де ε – радіус, а $(2 \cdot \varepsilon + 1)$ – лінійний розмір околиці $O_\varepsilon(i, j)$.

Крок 2. До множини яскравостей $\{f_\xi\}_{\xi=1, \dots, m}$ застосовується фільтр усіченого середнього (2.1), після чого вихідна яскравість пікселя $f(i, j)$ замінюється згладженим значенням $h(i, j)$.

Крок 3. Кінець.

Після фільтрації шуму на першому етапі попередньої обробки зображення, застосування розробленого методу дозволяє адекватно згладжувати яскравості об'єктів і фону.

Для поліпшення ступеня згладжування границь і ліній при цьому пропонується використовувати наступний метод згладжування.

Метод згладжування в однорідній околиці (*shn* -метод).

Основна ідея запропонованого методу полягає в тому, щоб після фільтрації шуму сформувати в околиці $O_\varepsilon(i, j)$ розглянутого пікселя однорідну множину яскравостей, а потім згладити яскравість пікселя $f(i, j)$ в однорідній околиці із застосуванням фільтра усіченого середнього виду (2.1).

Крок 1. У околиці $O_\varepsilon(i, j)$ пікселя (i, j) знаходяться пікселі, яскравості яких $\{f_\xi\}_{\xi=0, \dots, n}$ потрапляють в інтервал значень $f(i, j) \pm T$. Ряд яскравостей $\{f_\xi\}_{\xi=0, \dots, n}$ впорядковується за зростанням. Вважається: $p = 0, q = n$.

Крок 2. Знаходиться середнє M ряду $\{f_\xi\}_{\xi=p, \dots, q}$.

Крок 3. Якщо $(f_q - M) > T$, або $(M - f_p) > T$, тоді з множини $\{f_\xi\}_{\xi=0,\dots,n}$ видаляється яскравість найбільш віддалена від середнього M

$$\begin{cases} \text{якщо } (M - f_p) > (f_q - M) \rightarrow p = p + 1, \\ \text{або } q = q - 1, \end{cases}$$

перехід до кроку 2; інакше перехід до кроку 4.

Крок 4. До множини яскравостей $\{f_\xi\}_{\xi=p,\dots,q}$ застосовується фільтр усіченого середнього, після чого вихідна яскравість $f(i, j)$ пікселя (i, j) замінюється згладженим значенням $h(i, j)$.

Крок 5. Кінець.



Рисунок 2.2 – Базові методи поліпшення зображення

Після фільтрації шуму на першому етапі попередньої обробки зображення, застосування запропонованого методу дозволяє адекватно згладжувати не тільки яскравості внутрішності об'єктів, але і яскравості границь об'єктів і ліній. Для додаткового поліпшення якості згладжування запропонований метод може застосовуватися ітераційне.

В якості альтернативи пороговому критерію для побудови однорідної околиці може бути застосований $k\sigma$ -критерій.

Однак в цьому випадку для адекватного застосування $k\sigma$ -критерію на етапі навчання необхідно буде реалізувати трудомістку процедуру побудови функції $k = k(m, \sigma)$ для можливості динамічної настройки коефіцієнта k на статистичні властивості (m, σ) розподілу яскравості в розглянутій околиці.

Загальна трудомісткість застосування методу згладжування в однорідній околиці за порядком величини буде квазілінійною.

2.4 Ефективна дискримінація пікселів

Застосування запропонованих методів фільтрації і згладжування дозволяє отримувати відносно однорідні розподіли яскравості для внутрішності об'єктів, їх границь і ліній, залишаючи контрастність границь і ліній відносно фону на колишньому рівні.

Такий результат дає можливість навіть для низько контрастних об'єктів ефективно вирішувати завдання дискримінації пікселів на чотири категорії: пікселі внутрішності, пікселі границі, пікселі лінії і пікселі тіні.

У свою чергу, ефективна дискримінація пікселів дозволяє забезпечити ефективність застосування пропонованої в роботі перспективної технології підвищення різкості, заснованої на адаптивному контрастуванні лише границь об'єктів і ліній.

Побудова базової класифікації пікселів зображення. Пікселі цифрового зображення завжди можна поділити на чотири основні категорії:

а) пікселі внутрішності об'єкта – пікселі, які мають у своїй $\sqrt{2}$ -околиці лише (граничні, або внутрішні) пікселі об'єкта;

б) пікселі границі об'єкта – пікселі, які мають у своїй $\sqrt{2}$ -околиці пікселі, які одночасно:

- належать внутрішності об'єкта, і
- не належать об'єкту;

в) пікселі ліній – пікселі, які мають у своїй $\sqrt{2}$ -околиці пікселі, які одночасно:

- належать об'єкту, але не належать його внутрішності, і
- не належать об'єкту;
- г) пікселі тіні – пікселі, які не належать ні об'єкту ні фону.

Процес формування цифрового зображення завжди характеризується появою на цифровому зображенні пікселів тіні зображення; тут під тінню розуміється сукупність таких пікселів цифрового знімка, яскравість яких утворена одночасно випромінюванням об'єкта і фону. Поява пікселів тіні обумовлена тим, що при оцифруванні на один і той же елемент аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) одночасно потрапляє випромінювання об'єкта і фону.

Припустимо, що в області границі яскравість пікселів об'єкта має рівень f , а яскравість пікселів фону – рівень b . Припустимо також, що частка випромінювання об'єкта на елементі АЦП становить S_f , а частка випромінювання фону на цьому ж елементі АЦП становить $S_b = 1 - S_f$, де $0 < S_f < 1$, $0 < S_b < 1$, $S_f + S_b = 1$. У такій ситуації яскравість пікселів тіні об'єкта буде приймати значення в діапазоні

$$b < h(= f \cdot S_f + b \cdot S_b) < f. \quad (2.5)$$

На практиці між границями об'єктів з фоном на цифровому знімку завжди розташовується ланцюжок пікселів тіні з яскравістю, що оцінюється відповідно (2.5).

Базові критерії дискримінації пікселів зображення. Для цілей дискримінації пікселів згладженого зображення будемо використовувати обчислювально ефективні методи сегментації по контрастності, засновані на застосуванні масок, запропонованих в [11].

Для цієї мети спочатку побудуємо впорядкований за зростанням розподіл контрастності пікселя виду

$$\{u_i\}_{i=0,\dots,n}, u_0 \leq u_1 \leq \dots \leq u_n, \quad (2.6)$$

$$u_i = f(\xi, \eta) - f_i, f(\xi, \eta) \neq f_i, \quad (2.7)$$

де $f(\xi, \eta)$ – яскравість розглянутого пікселя (ξ, η) знімка, а f_i – яскравості пікселів ε -околиці пікселя, які визначені положенням маски оператора контрастування з центром (ξ, η) .

Після цього в якості основних характеристик пікселя будемо використовувати:

а) рівень контрастності пікселя

$$c = \max\{|u_0|, |u_n|\}, \quad (2.8)$$

б) рівень однорідності пікселя

$$g = \min\{|u_0|, |u_n|\}. \quad (2.9)$$

При цьому будемо використовувати наступні основні функції визначення приналежності пікселів зображення:

а) функція приналежності внутрішності

$$F_i = \begin{cases} 1, & \text{if } (g \leq T_g) \wedge (c \leq T_g), \\ 0, & \text{else;} \end{cases} \quad (2.10)$$

б) функція приналежності кордоні або лінії

$$F_b = \begin{cases} 1, & \text{if } (g \leq T_g) \wedge (c > T_g), \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (2.11)$$

При цьому якщо піксель, ідентифікований ($F_b = 1$) із застосуванням функції (2.11), містить у своїй околиці хоча б один піксель внутрішності, ідентифікований ($F_i = 1$) із застосуванням функції (2.10), тоді піксель ідентифікується як піксель границі.

В іншому випадку, якщо пікселів внутрішності в околиці немає, тоді піксель ідентифікується як піксель лінії;

в) функція приналежності тіні

$$F_s = \begin{cases} 1, & \text{if } (g > T_g) \wedge (c > T_g), \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (2.12)$$

Розглянемо принципи оцінювання радіусу ε -околиці пікселя вхідного зображення з координатами (ξ, η) ; визначення форми околиці докладно розглянуто в роботі [11].

Для цілей роботи важливо задавати радіус так, щоб ε -околиця мала непарний лінійний розмір. Це необхідно для однозначного визначення центрального пікселя околиці (ξ, η) , оскільки передбачається, що всі розглянуті оцінки в околиці характеризують ступінь неоднорідності центрального пікселя околиці (ξ, η) .

Величина радіусу вибирається на етапі навчання [5]. На якісному знімку ширина тіні становить один піксель; на неякісний знімку ширина тіні, як правило, не перевищує трьох пікселів. В таких умовах на першому етапі радіус околиці (маски) вибирається рівним одиниці, що призводить до розгляду квадратної маски розмірністю 3×3 .

В ході налаштування параметрів моделі радіус маски може збільшуватися зі збільшенням ширини тіні. При цьому завжди намагаються вибрати мінімально допустимий для адекватної ідентифікації радіус маски. Це необхідно для того, щоб не завищувати оцінки перепаду яскравості для пікселів внутрішності об'єкта, щоб мінімізувати хибну ідентифікацію пікселів зображення.

Крім того, вибір мінімально допустимого радіусу маски дозволяє мінімізувати трудомісткість ідентифікації по контрастності, яка пропорційна периметру $P = 4 \cdot (2 \cdot \varepsilon + 1) - 4 = 8 \cdot \varepsilon$ околиці того ж радіуса, де величина $2 \cdot \varepsilon + 1$ – це лінійний розмір маски.

Оскільки яскравість пікселя тіні формується відповідно (2.5), ідентифікація пікселів границі, лінії і тіні завжди характеризується наявністю помилок першого і другого роду. В таких умовах, на етапі налаштування параметрів моделі радіус ε повинен вибиратися одночасно з порогом T_g для мінімізації ймовірностей помилок першого і другого роду, що виникають при дискримінації пікселів.

При цьому в якості інтегрального показника ефективності дискримінації будемо використовувати коефіцієнт зростання рівня контрастності об'єкта щодо фону, який буде розглянуто нижче.

Метод дискримінації пікселів зображення. Для практичного застосування сформульованих вище критеріїв дискримінації сформулюємо метод дискримінації пікселів зображення.

Метод дискримінації пікселів зображення по контрастності (ds -метод).

Крок 1. У процесі сканування зображення для кожного його пікселя з координатами (i, j) із застосуванням маски заданого радіуса ε , відповідно до правил (2.8) і (2.9), оцінюються величини контрастності $c = c(i, j; \varepsilon)$ і $g = g(i, j; \varepsilon)$. За цим значенням із застосуванням критеріїв (2.10) – (2.12) проводиться дискримінація пікселів на три класи: внутрішність, границя або лінія, тінь.

Крок 2. При повторному скануванні оглядається околиця $O_{\sqrt{2}}(i, j)$ кожного пікселя границі або лінії з координатами (i, j) : якщо в околиці є хоч один піксель внутрішності, піксель (i, j) вважається пікселем границі; інакше піксель (i, j) вважається пікселем лінії.

Крок 3. Кінець.

Загальна трудомісткість застосування методу 2.3 за порядком величини буде оцінюватися лінійною функцією.

При цьому найбільш відомі аналоги [1, 2, 9] оцінюються трудомісткістю $P \leq T(N) \leq P^2$ операцій порівняння на піксель знімка.

Крім того, запропонований метод дискримінації пікселів зображення по контрастності, оперуючи двома величинами c й g , дозволяє ідентифікувати

пікселі тіні, чого не можуть робити його аналоги, які оперують лише величиною контрастності.

Тому, якщо спеціально не обумовлено інше, для цілей роботи будемо застосовувати метод 2.3, що дозволяє з прийнятною трудомісткістю адекватно ідентифікувати пікселі внутрішності і границі об'єкта, тіні і лінії.

2.5 Вибір критеріїв ефективності обробки та фільтрації

Який би метод підвищення різкості не був задіяний, важливо знати наскільки збільшився перепад яскравості об'єкта щодо фону після застосування оператора контрастування.

Отже, припустимо, що задане деяке зображення E . Для нього відомо положення пікселів об'єктів, тіні і фону.

В таких умовах оцінимо мінімальну контрастність пікселя границі об'єкта на цьому зображенні щодо пікселів тіні і фону так

$$c^* = \min_i(c_i); \quad (2.13)$$

якщо спеціально не обумовлено інше, тут і далі контрастність пікселів оцінюється попарно за правилом $c(x, y; \varepsilon) = \max_{\xi} |f(x, y) - f_{\xi}|$, запропонованим в роботі [11].

Тепер припустимо, що зображення було контрастувати.

Оцінимо мінімальну контрастність g^* пікселя границі об'єкта на цьому зображенні щодо пікселів тіні і фону

$$g^* = \min_i(g_i). \quad (2.14)$$

В таких умовах, якщо $c^* < T$ і виконується умова

$$(g^* > c^*) \wedge (g^* > T), \quad (2.15)$$

де T – гранична величина, обрана з умови забезпечення ефективності подальшої обробки знімка, тоді вважається, що підвищення різкості вироблено ефективно. У завданнях машинного зору поріг T завжди вибирають так, щоб забезпечити максимально ефективну сегментацію.

Правило (2.15) назвемо базовим критерієм ефективності підвищення різкості зображення.

Отже, ефективним будемо вважати такий оператор підвищення різкості, який забезпечує виконання умови (2.15).

При цьому величиною

$$r = \frac{g^*}{c^*}, \quad (2.16)$$

будемо оцінити кратність підвищення різкості зображення.

Зауважимо, що при вирішенні задач машинного зору для об'єктів заданого класу важливо, щоб виконувалася умова

$$g^* > h^*, \quad (2.17)$$

де h^* – максимальна оцінка контрастності між суміжними пікселями внутрішності об'єкта після контрастування знімка.

Виконання умови (2.17) забезпечує однозначну дискримінацію пікселів нутроці, границі об'єкта і лінії по контрастності з застосуванням запропонованих вище критеріїв дискримінації. Зауважимо, що досягнення цієї умови забезпечується фільтрацією, градаційною корекцією, згладжуванням і контрастуванням в комплексі.

Поліпшення якості зображення може проводитися для різних цілей і досягатися застосуванням великої кількості окремих методів обробки

зображення. В таких умовах при виконанні заданих обмежень по часу, інтегральний критерій ефективності поліпшення зображення має вигляд

$$ERate \leq T^*, ERate = \max_{i,j} \{|En_{ij} - Tp_{ij}|\}, \quad (2.18)$$

де T^* – задана гранична величина, а $ERate$ – міра відмінності покращення зображення En і еталона Tp в метриці Чебишева, що дозволяє оцінювати граничну міру відмінності яскравостей пікселів зображень.

3 ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Корекція зображення за допомогою градаційних моделей

В даний час рішення задачі градаційній корекції найчастіше спирається на використання полінома першого ступеня, синусоїди, а також експоненційної або логарифмічної функцій. Розглянемо уніфіковані аналоги цих функцій.

3.1.1 Модель ГК

Для можливості одночасного підвищення різкості, тонової корекції і нормування значень яскравості на інтервалі значень яскравості $[a, b]$, $a < b$, пропонується використовувати такі базові функції градаційній корекції

$$p(x) = k \cdot (x - a), k = \frac{255}{b-a}, \quad (3.1)$$

$$s(x) = \frac{255}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{b-a} \cdot x - \frac{\pi}{2} - \frac{a \cdot \pi}{b-a}\right) + \frac{255}{2}, \quad (3.2)$$

$$t(x) = p(x) + (p(x) - s(x)), \quad (3.3)$$

які перетворюють яскравості пікселів знімка з інтервалу $[a, b]$ на стандартний інтервал значень $[0, 255]$, як це показано на рис. 3.1.

Всі три функції (3.1) – (3.3) вважаються базовими, оскільки вони призначені для плавної градаційній корекції розподілу яскравості об'єктів і фону на знімку, що потребує і вирішення більшості прикладних задач. При цьому:

– функція $p(x)$ дозволяє пропорційно перетворювати яскравості пікселів знімка, які задані на довільному інтервалі $[a, b]$, на стандартний інтервал значень $[0, 255]$;

– функція $s(x)$ дозволяє перетворювати яскравості пікселів знімка, які задані на довільному інтервалі $[a, b]$, на стандартний інтервал значень $[0, 255]$, таким чином, щоб підвищувати різкість зображення тим більше, чим ближче яскравість до середини інтервалу $[a, b]$;

– функція $t(x)$ побудована так, щоб перетворювати яскравості пікселів знімка, які задані на довільному інтервалі $[a, b]$, на стандартний інтервал значень $[0, 255]$, таким чином, щоб підвищувати різкість зображення тим більше, чим ближче яскравість до кордонів інтервалу $[a, b]$.

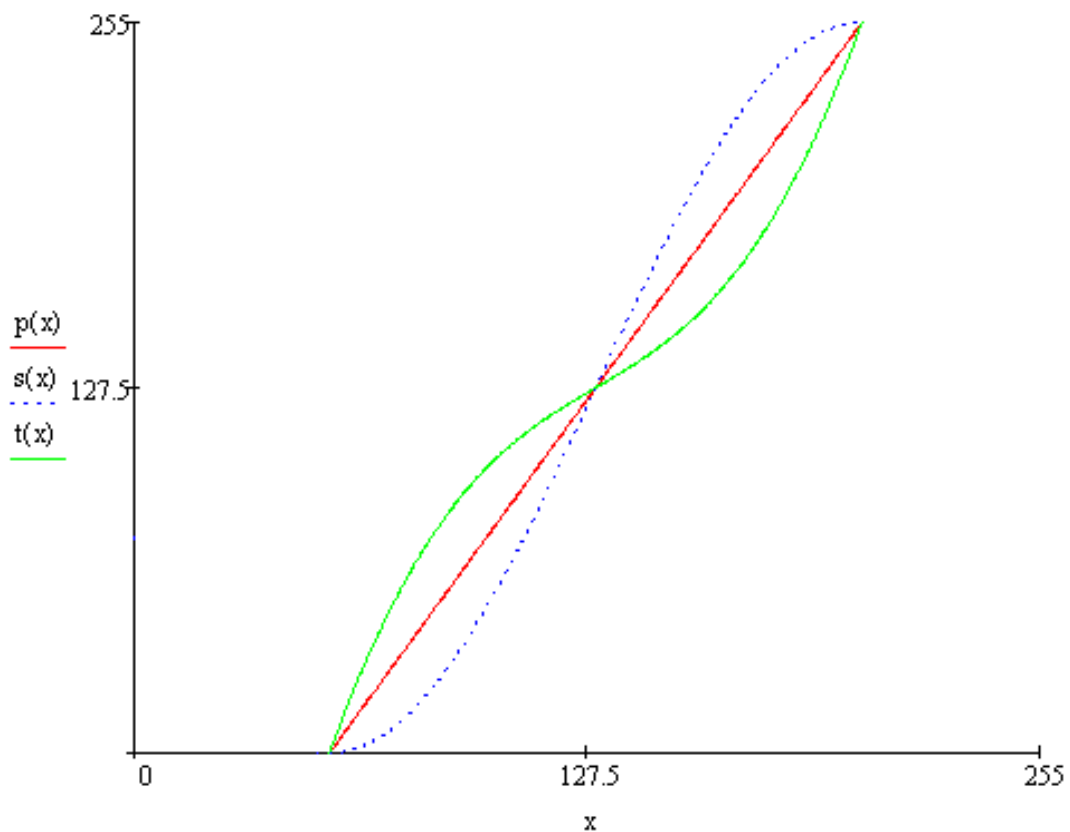


Рисунок 3.1 – Базові функції градаційній корекції (3.1) – (3.3), побудовані на інтервалі $[a = 55, b = 205]$

З метою практичного використання пропонується використовувати одну базову уніфіковану функцію плавної градаційної корекції

$$F_B(\lambda, x) = [\lambda \cdot s(x) + (1 - \lambda) \cdot t(x)], \quad (3.4)$$

При цьому з урахуванням (3.3) вираз (3.4) набуде вигляду

$$F_B(\lambda, x) = [\lambda \cdot s(x) + (1 - \lambda) \cdot (2 \cdot p(x) - s(x))], \quad (3.5)$$

де $[\cdot]$ – оператор округлення до цілого.

За рахунок підбору коефіцієнта λ , $0 \leq \lambda \leq 1$, функція (3.5) дозволяє під певну ситуацію підбирати найкращу функцію градаційної корекції серед функцій $s(x)$, $t(x)$ і їх більш гладкий аналогів. Представники сімейства функцій представлені на рис. 3.2.

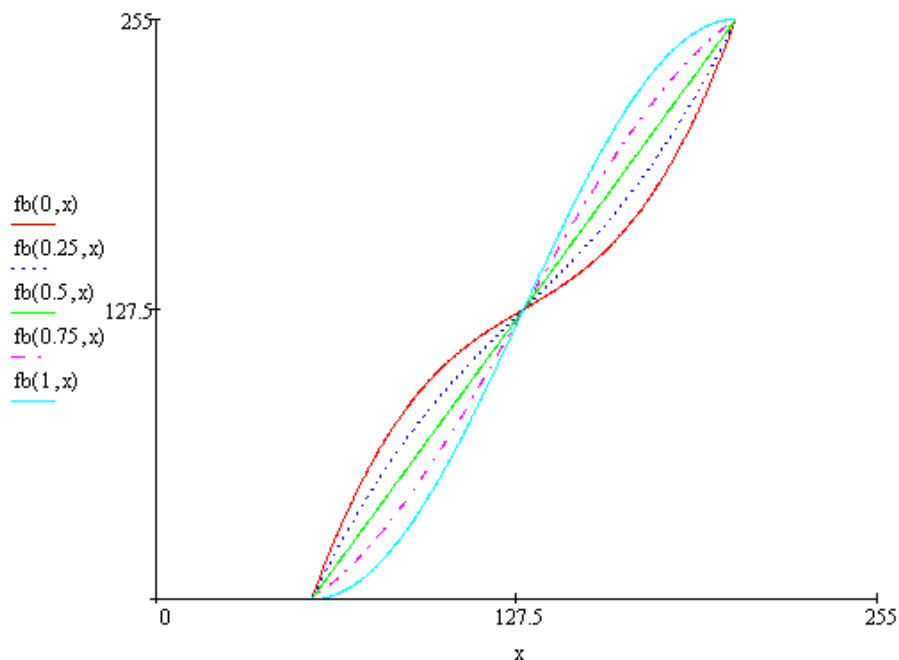


Рисунок 3.2 – Представники сімейства функцій $F_B(\lambda, x)$, побудовані при зміні параметра λ з кроком $\Delta\lambda = 0.25$ на інтервалі $[a = 55, b = 205]$

3.1.2 Поліпшення ГК

При вирішенні більшості прикладних задач пов'язаних з проведенням градаційної корекції в даний час виробляють перетворення яскравості з інтервалу $[0, 255]$ на аналогічний йому інтервал значень.

Однак проведені експериментальні дослідження гістограм зображень показують, що яскравість більшості реальних зображень змінюється в такому інтервалі значень $[a, b]$, $0 \leq a \leq b \leq 255$, ширина якого $b - a$, як правило, менше ширини інтервалу $[0, 255]$.

В таких умовах для цілей підвищення різкості доцільно проводити поступову корекцію з інтервалу $[a, b]$ на інтервал $[0, 255]$ з використанням функції $F_B(\lambda, x)$ виду (3.5) з параметрами

$$a = \min_{i,j} \{f_{i,j}\}_{i,j}, b = \max_{i,j} \{f_{i,j}\}_{i,j}, \quad (3.6)$$

де $\{f_{i,j}\}_{i,j}$ – яскравості в пікселях оброблюваного знімка. При перетворенні яскравості на стандартний інтервал значень $[0, 255]$, використання такої функції аналогічно використанню критерію виду

$$x' = \begin{cases} 0, & \text{если } (x = a), \\ F_B(\lambda, x), & \text{если } (a < x < b), \\ 255, & \text{если } (x = b). \end{cases} \quad (3.7)$$

Як видно з розгляду рисунка 3.2 функції сімейства $F_B(\lambda, x)$ автоматично масштабуються, який би інтервал значень яскравості $[a, b]$ не був вибраний. Недоліком запропонованої модифікованої функції (3.5) є погіршення візуального сприйняття фрагментів зображення з яскравістю поблизу границь інтервалу $[a, b]$, оскільки ці значення будуть перетворені до чорних, або білим кольорами.

Для компенсації цього недоліку потрібно видозмінити функцію (3.5) наступним чином. Спочатку необхідно задати пороги чутливості c , d для вихідного інтервалу яскравості $[0, 255]$ так: $0 \leq c \leq d \leq 255$, а потім проводити поступову корекцію з вихідного інтервалу $[a, b]$ на вихідний інтервал $[c, d]$ з використанням таких модифікованих функцій

$$p(x) = k \cdot (x - a) + c, k = \frac{d-c}{b-a}, \quad (3.8)$$

$$s(x) = \frac{d-c}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{(b-a)} \cdot x - \frac{\pi}{2} - \frac{a \cdot \pi}{b-a}\right) + \frac{d+c}{2}, \quad (3.9)$$

$$t(x) = p(x) + (p(x) - s(x)), \quad (3.10)$$

які перетворюють яскравості вихідного зображення, що визначаються на інтервалі $[a, b]$, $a < b$, на інтервал значень $[c, d]$, $c < d$. Сукупність функцій (3.8) – (3.10) для фіксованих границь інтервалів $[a, b]$ і $[c, d]$ представлена на рис. 3.3.

З метою практичного використання будемо і далі користуватися моделлю градаційній корекції (3.5), заснованої на застосуванні функцій градаційній корекції (3.8) – (3.10). За рахунок настройки границь (c, d) на особливості оброблюваного знімка, використання функцій градаційній корекції (3.8) – (3.10) дозволяє створювати таке покращене зображення, на якому видно всі об'єкти незалежно від того, в якому діапазоні знаходяться їх значення яскравості. Однак слід пам'ятати, що для машинного аналізу з метою максимального підвищення контрасту границі об'єкта відносно фону значення c і d доцільно ставити так: $c = 0, d = 255$.

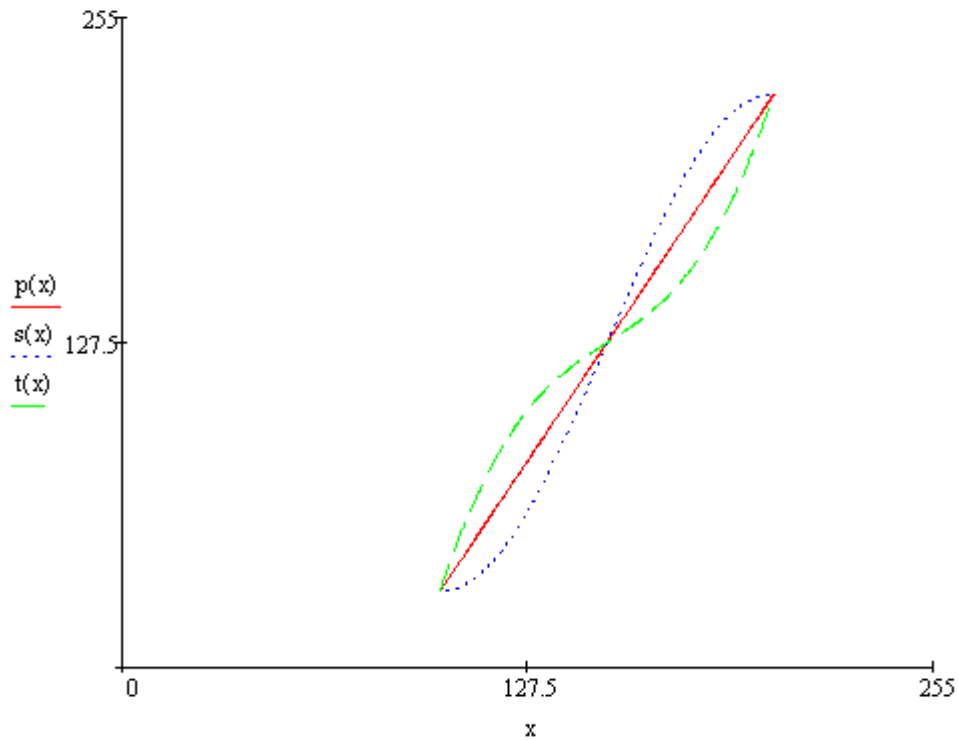


Рисунок 3.3 – Модифіковані базові функції градаційній корекції, побудовані для інтервалів $[a = 100, b = 205]$, $[c = 30, d = 225]$

3.1.3 Експоненціально-логіфімічна модель ГК

Для можливості одночасного підвищення різкості, тонової корекції і нормування значень яскравості в виділеному діапазоні значень $[a, b]$, $a < b$, пропонується, на додаток до полиному (3.1), замість функцій (3.2) і (3.3) використовувати такі функції градаційній корекції знімка

$$ef(x) = e^{k1 \cdot k2 \cdot (x-a)} - 1, \quad (3.11)$$

$$lf(x) = k1^{-1} \cdot \ln[(x-a) \cdot k2 + 1], \quad (3.12)$$

$$k1 = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}, \quad k2 = \frac{255}{b-a}, \quad (3.13)$$

які перетворюють яскравості знімка з інтервалу $[a, b]$, $a < b$, на стандартний інтервал значень $[0, 255]$, як це показано на рис. 3.4.

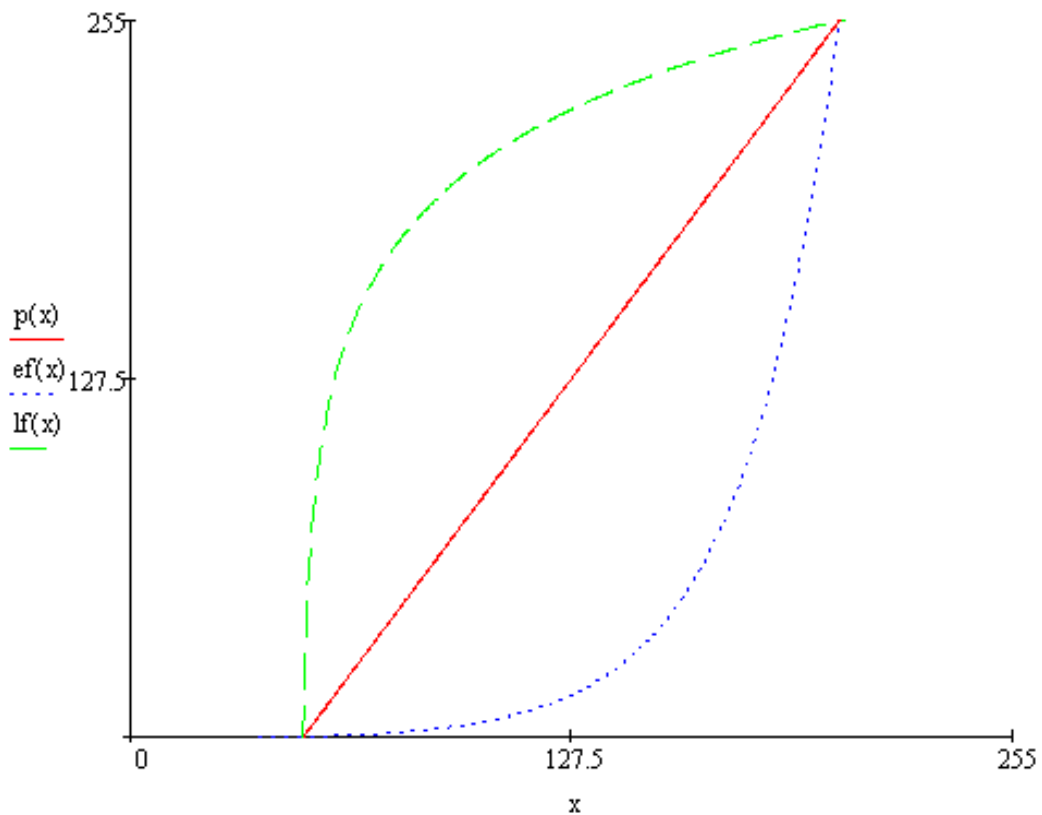


Рисунок 3.4 – Розширений набір функцій градаційній корекції (3.11) – (3.12), визначених на інтервалі значень яскравості $[55, 205]$

Функції (3.11) і (3.12) будемо відносити до розширеного набору функцій градаційній корекції, оскільки вони не призначені для плавного контрастування знімка. З метою практичного використання пропонується використовувати одну уніфіковану функцію експоненціально-логіфічною градаційній корекції знімка

$$F_{ELC}(\lambda, x) = \begin{cases} [(\lambda - 1) \cdot lf(x) + [1 - (\lambda - 1)] \cdot p(x)] & \text{if } \lambda \geq 1, \\ [\lambda \cdot p(x) + (1 - \lambda) \cdot ef(x)] & \text{else.} \end{cases} \quad (3.14)$$

За рахунок підбору коефіцієнта λ , $0 \leq \lambda \leq 2$, функція (3.14) дозволяє під певну ситуацію підбирати найкращу функцію градаційної корекції серед функцій (3.11), (3.12) і їх більш гладкий аналогів.

Представники сімейства функцій $F_{ELC}(\lambda, x)$, побудовані при зміні параметра λ з кроком $\Delta\lambda = 0.25$, представлені на рис. 3.5.

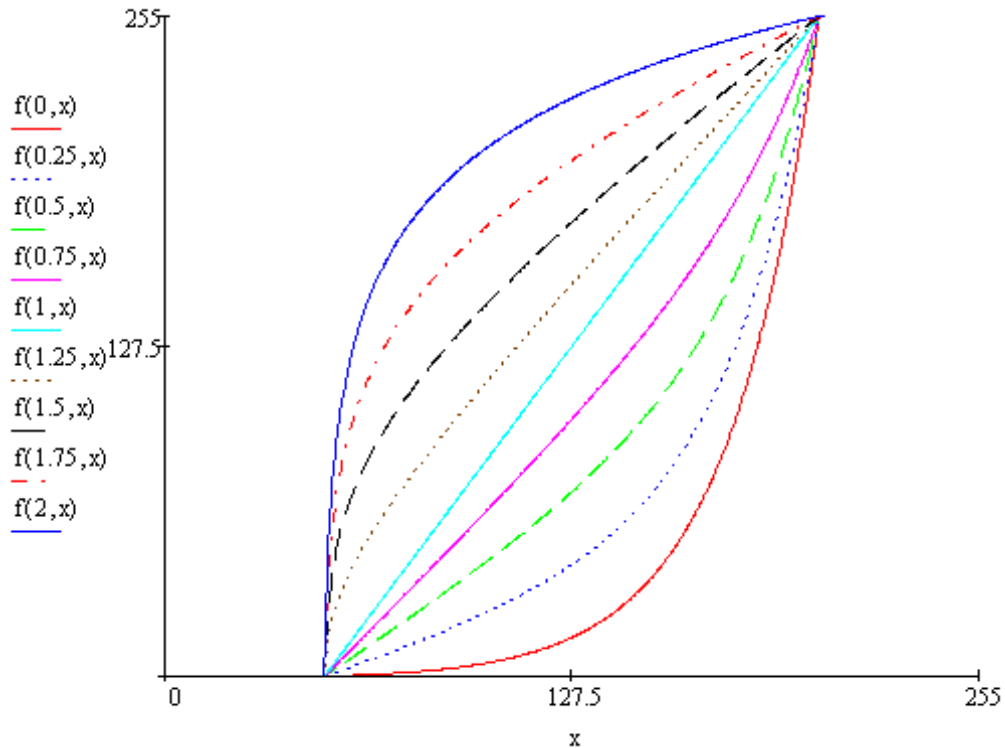


Рисунок 3.5 – Представники сімейства функцій $F_{ELC}(\lambda, x)$ на інтервалі яскравостей $[55, 205]$, побудовані при зміні параметра λ з кроком $\Delta\lambda = 0.25$

При вирішенні більшості прикладних задач перетворення яскравості з інтервалу $[0, 255]$ виробляють на аналогічний йому інтервал значень. Однак проведені експериментальні дослідження гістограм зображень показують, що яскравість більшості реальних зображень змінюється в такому інтервалі значень $[a, b]$, $0 \leq a \leq b \leq 255$, ширина якого $b - a$, як правило, менше ширини інтервалу $[0, 255]$.

В таких умовах для цілей підвищення різкості доцільно проводити поступову корекцію з інтервалу $[a, b]$ на інтервал $[0, 255]$ з використанням функції $F_{ELC}(\lambda, x)$ виду (3.14) з параметрами a і b , знайденими відповідно (3.6). Недоліком запропонованої функції (3.14) є погіршення візуального сприйняття фрагментів зображення з яскравістю поблизу границь інтервалу $[a, b]$, оскільки ці значення будуть перетворені до чорних, або білим кольорами.

Задамо пороги чутливості c, d на вихідному інтервалі $[0, 255]$, $0 \leq c \leq d \leq 255$; поступову корекцію яскравості з інтервалу $[a, b]$ на інтервал $[c, d]$ будемо виробляти з використанням моделі (3.14), на основі використання функції (3.8), доповненої такими модифікованими функціями

$$ef(x) = k3 \cdot [e^{k1 \cdot k2 \cdot (x-a)} - 1] + c, \quad (3.15)$$

$$lf(x) = k3 \cdot k1^{-1} \cdot \ln[(x-a) \cdot k2 + 1] + c, \quad (3.16)$$

$$k1 = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}, \quad k2 = \frac{255}{b-a}, \quad k3 = \frac{d-c}{255}, \quad (3.17)$$

які перетворюють яскравості вихідного зображення, що визначаються на інтервалі $[a, b]$, $a < b$, на інтервал значень $[c, d]$, $c < d$. Сукупність функцій (3.8), (3.15) і (3.16) для фіксованих меж інтервалів $[a, b]$ і $[c, d]$ представлена на рис. 3.6.

Як видно з розгляду цього рисунка 3.6 функції сімейства $F_{ELC}(\lambda, x)$ автоматично масштабуються, які б інтервали значень яскравості $[a, b]$ і $[c, d]$ не були обрані.

З метою практичного використання будемо і далі користуватися моделлю градаційній корекції (3.14), заснованої на застосуванні модифікованих функцій (3.8), (3.15) і (3.16).

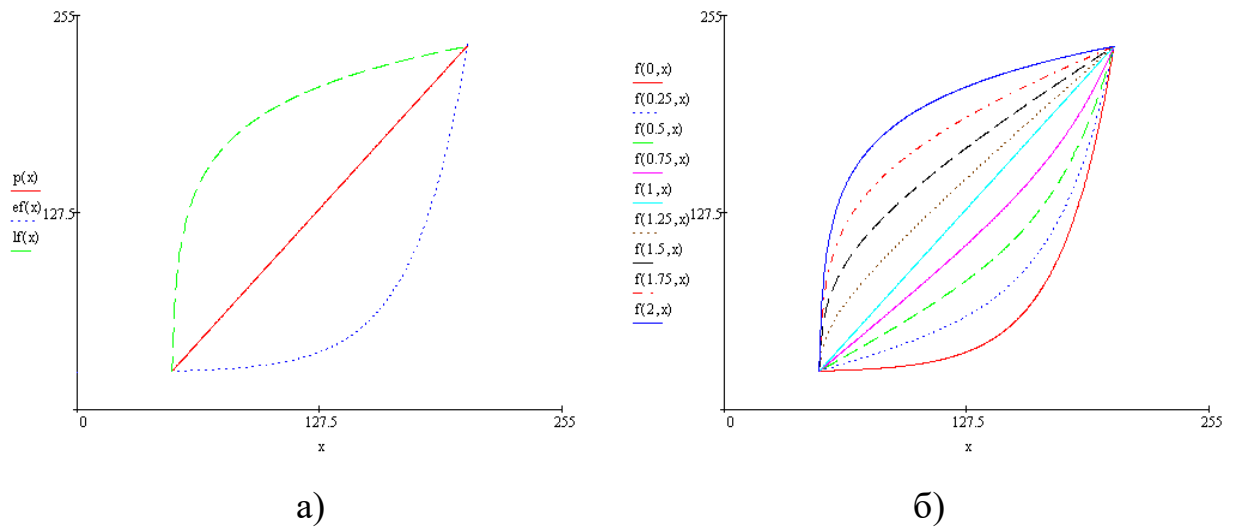


Рисунок 3.6 – Модифіковані функції експоненціально-логічмічною моделі поступової корекції (а) і представники сімейства $F_{ELC}(\lambda, x)$, побудовані зі зміною параметра λ з кроком $\Delta\lambda = 0.25$, де $a = 50, b = 205, c = 25, d = 235$

3.1.4 Аналіз ефективності

Підвищення різкості зображення може бути виражено інтегральним коефіцієнтом c_s розтягування інтервалу $[a, b]$ на інтервал $[c, d]$ з урахуванням співвідношень $0 \leq a \leq b \leq x^*, 0 \leq c \leq d \leq 255$ так

$$c_s = v/\mu, v = \frac{d-c}{255}, \mu = \frac{b-a}{x^*}, 0 \leq v \leq 1, 0 \leq \mu \leq 1, \quad (3.18)$$

що геометрично визначається тангенсом $tg(\alpha)$ кута α нахилу

$$c_s = tg(\alpha) = \frac{v}{\mu}, \quad (3.19)$$

як це показано на рис. 3.7. Якщо коефіцієнт c_s більше одиниці, в цьому випадку більш вузький інтервал $[a, b]$ розтягується на більш широкий інтервал $[c, d]$. З ростом коефіцієнта c_s різкість знімка буде лише

підвищуватися. Якщо ж більш широкий інтервал $[a, b]$ перетворюється на більш вузький інтервал $[c, d]$, в цьому випадку коефіцієнт c_s буде менше одиниці. Зі зменшенням цього коефіцієнта різкість знімка буде тільки знижуватися.

Якщо вихідна область $[0, x^*]$ значень яскравості визначається діапазоном $[0, 255]$, тоді відповідно (3.18) отримаємо

$$c_s = \frac{\nu}{\mu} = \frac{d-c}{b-a}. \quad (3.20)$$

Коефіцієнт c_s будемо використовувати в якості інтегрального (середнього) показника ефективності градаційній корекції і, одночасно з цим, в якості базового коефіцієнта підвищення різкості знімка градаційній корекцією. При цьому будемо пам'ятати, що використання нелінійних перетворень тягне за собою локальне нелінійна зміна різкості на різних ділянках інтервалу $[a, b]$.

Ефективною при цьому будемо вважати таку поступову корекцію знімка, в результаті якої виконується умова: $c_s > T_s$, де T_s – задана гранична величина, $T_s > 1$, яка вибирається відповідно до вимог завдання і/або особливостей індивідуального сприйняття візуальної інформації експертом в області дешифрування зображення.

При ефективній попередній фільтрації шуму [1, 9, 98] застосування запропонованих функцій градаційній корекції дозволяє не тільки виробляти тонову корекцію і нормування яскравості знімка, а й значимо звужувати інтервал $[a, b]$ і, отже, значимо підвищувати різкість знімка, відповідно (3.18).

Розглянемо тепер побудову методів поліпшення зображень, заснованих на застосуванні запропонованих вище моделей градаційній корекції зображення.

Отже, припустимо, що обрана модель поступової корекції $F(x; a, b, c, d, \lambda)$, і визначені параметри цієї моделі (a, b, c, d, λ) .

Метод 3.1. В таких умовах пропонується наступний базовий метод поступової корекції зображення (*hc*-метод), основні кроки якого полягають у наступному.

Крок 1. Побудова табличне заданої функції градаційній корекції. З огляду на той факт, що область визначення яскравості є цілочисельною і кінцевою, для мінімізації обчислень на етапі проведення поступової корекції зображення, побудуємо табличну функцію поступового перетворення $F(x; a, b, c, d, \lambda)$ яскравості так:

а) визначимо матрицю рядок $M_{1 \times n}$, де n – число можливих значень яскравості x , $n = x^* + 1$, x^* – максимально можлива яскравість;

б) в осередки матриці $M[i]$ внесемо відповідні значення яскравості $F(i) = F(i; a, b, c, d, \lambda)$, $i = 0, 1, \dots, x^*$ за правилом

$$M[i] = \begin{cases} c, & \text{если } i < a, \\ F(i), & \text{если } a \leq i \leq b, \\ d, & \text{если } i > b. \end{cases} \quad (3.21)$$

Крок 2. Градаційна корекція зображення. В ході порядкового сканування знімка будемо виробляти перетворення яскравості $x(\xi, \eta)$ за правилом $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$.

Крок 3. Кінець.

При цьому якщо границі $[a, b]$ не задані апріорно, вони повинні оцінюватися відповідно (3.6) на початковому етапі градаційній корекції. У такій ситуації запропонований метод буде представлятися наступною послідовністю кроків.

Модифікований базовий метод поступової корекції зображення (*mhc*-метод).

Крок 1. Побудова гістограми частотей зображення. В ході порядкового сканування побудуємо гістограму H частотей h_i на інтервалі цілочисельних $[0, x^*]$ значень яскравості знімка

$$H = \{h_i\}_{i=0, \dots, x^*}, h_i = \frac{k_i}{N}, \quad (3.22)$$

де x^* – максимально можлива яскравість знімка, k_i – число пікселів знімка з яскравістю i , N – число пікселів знімка.

Побудова гістограми H частотей необхідна для зниження трудомісткості знаходження границь $[a, b]$, а також для подальшої уніфікації методу поступової корекції.

Крок 2. Знаходження меж інтервалу яскравості. Аналізуючи гістограму частотей H , знайдемо першу a і останню b яскравості, частоти яких відмінні від нуля.

Крок 3. Побудова табличне заданої функції градаційній корекції. Точно так же, як і в попередньому методі побудуємо табличну функцію поступового перетворення $F(x; a, b, c, d, \lambda)$ яскравості x .

Крок 4. Градаційна корекція зображення. В ході порядкового сканування знімка будемо виробляти перетворення яскравості $x(\xi, \eta)$ за правилом $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$.

Крок 5. Кінець.

При вирішенні багатьох прикладних задач можна бачити, що гістограма яскравості зображення має яскраво виражені хвости (рисунок 1.10), що подаються такими значеннями, ймовірність появи яких близька до нуля.

В умовах, коли ці значення яскравості не характеризують пікселі тих об'єктів на знімку, які нас цікавлять, їх можна відсікти, шляхом обнулення відповідних їм частот.

Якщо після цього по гістограмі яскравості знайти значення мінімальної a і максимальної b яскравості знімка, то інтервал області значень яскравості

знімка значно звузиться. Таким чином, можна домогтися додаткового контрастування об'єктів на знімку.

Для реалізації цього підходу, при заданих параметрах (c, d, λ) і порозі T відсікання незначущих частотей пропонується наступний метод поступової корекції зображення (*hcc* -метод).

Крок 1. Побудова гістограми частотей зображення. В ході порядкового сканування побудуємо гістограму частотей (3.22) на інтервалі $[0, x^*]$ цілочисельних значень яскравості знімка.

Крок 2. Знаходження границь інтервалу яскравості. Аналізуючи гістограму частотей H , знайдемо першу і останню яскравості, частоту яких вище мінімально допустимого рівня: $T: h_i > T$.

Крок 3. Побудова табличне заданої функції градаційної корекції. Точно так же, як і в попередньому методі побудуємо табличну функцію градаційного перетворення $F(x; a, b, c, d, \lambda)$ яскравості x .

Крок 4. Градаційна корекція зображення. В ході порядкового сканування знімка будемо виробляти перетворення яскравості $x(\xi, \eta)$ за правилом $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$.

Крок 5. Кінець.

Якщо спеціально не обумовлено інше, запропонований вище *hcc* - метод будемо застосовувати в якості основного методу градаційної корекції цифрового зображення.

Оскільки область визначення яскравості, в більшості випадків оцінюється 256 значеннями, а лінійні розміри сучасних знімків оцінюються кількома тисячами пікселів, основний внесок в загальну трудомісткість методу поступової корекції дають кроки, в рамках яких сканується і обробляється весь знімок.

В таких умовах отримаємо, що основний внесок в трудомісткість дає реалізація сканування зображення, що реалізується на першому і четвертому кроках *hcc* -методу.

3.2 Аналіз розроблених методів

Застосування класичних моделей, призначених для підвищення різкості пропорційно рівню контрастності, призводить до того, що вихідні значення яскравості f' пікселів знімка після підвищення різкості можуть набувати значень на інтервалі $[a', b']$ більшому стандартного інтервалу значень яскравості $[0, 255]$. У такій ситуації необхідно проводити нормування яскравостей таким чином, щоб нормовані яскравості належали стандартному інтервалу значень яскравості.

Виконання нормування $\|f'\|$ значень яскравості часто призводить до втрати фотореалістичності знімка. Вся справа в тому, що при підвищенні різкості часто виявляються ефекти: а) значної асиметрії границь інтервалу $[a', b']$ відносно границь інтервалу $[0, 255]$, б) надлишкового зростання яскравості f' високо контрастних пікселів границь і ліній.

В таких умовах після нормування однорідні розподіли яскравості внутрішності і границь низько контрастних зображень неприродно стискаються: нерідко широкий інформативний діапазон яскравості, який на оригінальному зображенні містить переважну кількість яскравостей пікселів об'єктів і фону, стискається в кілька разів. У підсумку, високо контрастні об'єкти стають надмірно контрастними, а зображення з низькою контрастністю залишаються не контрастними. Границі контрастних зображень представляються білими або чорними точками. Через асиметрію границь інтервалу $[a', b']$ відносно границь $[0, 255]$, відбувається неприродне затемнення або освітлення зображення. Для усунення цих проблем в роботі пропонується наступна модель підвищення різкості зображення, що застосовується для пікселів границь і ліній, ідентифікованих за критеріями (2.14) – (2.16).

Базова модель підвищення різкості має вигляд

$$f' = \begin{cases} \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor, & \text{якщо } 0 \leq \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor \leq 255, \\ 0, & \text{якщо } \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor < 0, \\ 255, & \text{якщо } \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor > 255, \end{cases} \quad (3.25)$$

де $\lfloor \cdot \rfloor$ – операція округлення до цілого.

Така модель запропонована для того, щоб нові значення яскравості f' пікселів границь і ліній не виходили за межі стандартного діапазону яскравості $[0, \dots, 255]$. Це зроблено для того, щоб не нормувати яскравості f' і не погіршувати властивостей знімка асиметричним стисненням.

Знакова функція в моделі (3.25) служить для адекватного збільшення (зменшення) рівня яскравості світлого (темного) пікселя на темному (світлому) фоні і визначається так

$$sn = \begin{cases} \frac{u_0}{|u_0|}, & \text{if } |u_0| \geq |u_n|, \\ \frac{u_n}{|u_n|}, & \text{else,} \end{cases} \quad c \neq 0, \quad (3.26)$$

де величини контрастності u і c знайдені відповідно (2.12) і (2.13).

Абсолютна величина Δf зміни яскравості f в моделі (3.25) визначається так

$$\Delta f = y(\arg(c); k, p) = k \cdot \left(\frac{\arg(c)}{255} \right)^p \cdot \arg(c), \quad (3.27)$$

де k – інтегральний коефіцієнт посилення контрастності, а p – показник ступеня функції контрастування.

За рахунок варіації параметрів (k, p) модель (3.27) дозволяє гнучко налаштовуватися на особливості прикладної задачі:

а) вибирати необхідний середній рівень посилення контрасту знімка шляхом зміни значення інтегрального коефіцієнта посилення k , і

б) посилювати незначущі перепади яскравості шляхом збільшення показника ступеня p , або навпаки – посилювати і значущі і незначущі перепади яскравості шляхом зменшення показника ступеня p .

При цьому аргумент $arg(c)$ в моделі (3.27) визначається так

$$arg(c) = \begin{cases} c, & \text{если } c < T_c, \\ T_c - (c - T_c) \cdot \frac{T_c}{255 - T_c}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3.28)$$

де c – контрастність пікселя, знайдена за правилом (2.12), T_c – поріг, який визначає таку величину контрастності $c^* = T_c$, після якої приріст абсолютної величини Δf яскравості f буде лише зменшуватися.

Таке визначення аргументу $arg(c)$ функції $\Delta f = y(arg(c); k, p)$ необхідно для того, щоб не збільшувати великі перепади яскравості для недопущення надмірного підвищення контрастності і мінімізації негативного ефекту появи білих і чорних точок на границях об'єктів і лініях.

Моделі формування абсолютної величини Δf збільшення (зменшення) яскравості при реалізації різних правил підвищення різкості наведені на рис. 3.8, де $T_c = 76.5, k = 1, p = 0.5$; при цьому на рис. 3.9 наведені моделі формування величини Δf при різних значеннях порога T_c , ($T_{c1} = 51, T_{c2} = 76.5, T_{c3} = 102$), $k = 1, p = 0.5$.

На рисунку 3.7 наведені моделі формування величини Δf при різних значеннях коефіцієнта k , ($k = 0.5, k = 1, k = 1.5$), $T_c = 76.5, p = 0.5$, а на рис. 3.8 – моделі формування величини Δf при різних значеннях показника ступеня p , ($p = 0.5, p = 1, p = 1.5$), $T_c = 76.5, k = 1$.

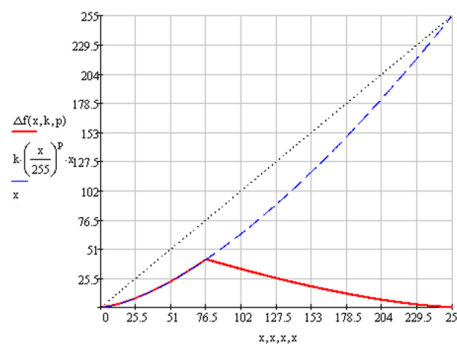


Рисунок 3.7 – Різні моделі формування величини Δf

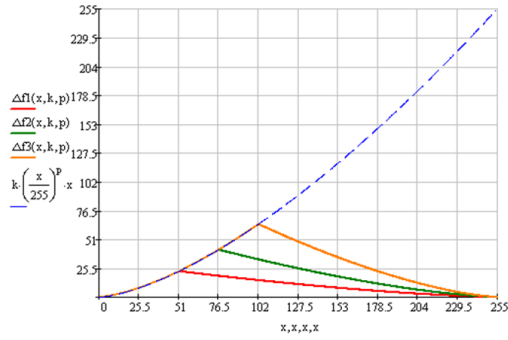


Рисунок 3.8 – Моделі формування величини Δf , при варіаціях порога T_c

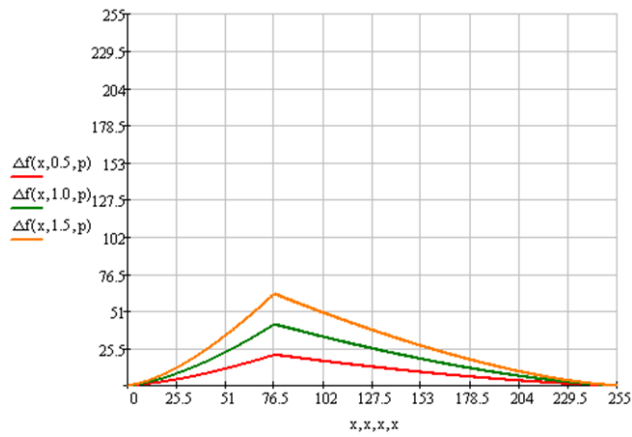


Рисунок 3.9 – Моделі формування величини Δf , при варіаціях параметра k

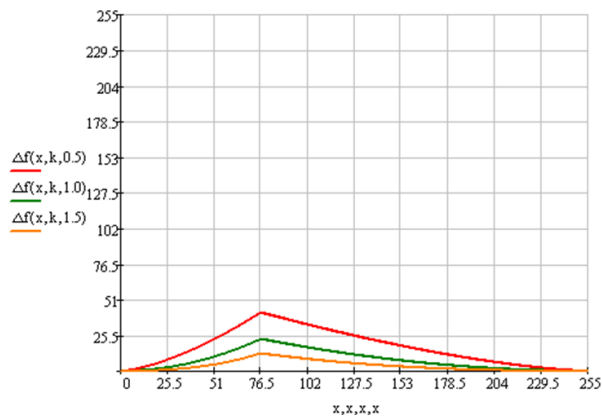


Рисунок 3.10 – Моделі формування величини Δf , при варіаціях параметра p

3.3 Оцінки обчислювальної ефективності методу комплексного поліпшення якості зображення

На основі запропонованих вище моделей і методів комплексного поліпшення якості цифрового зображення розроблене спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) «Image Processing Tool», який призначений для проведення досліджень щодо обчислювальної ефективності поліпшення якості зображення (рисунок 3.11).

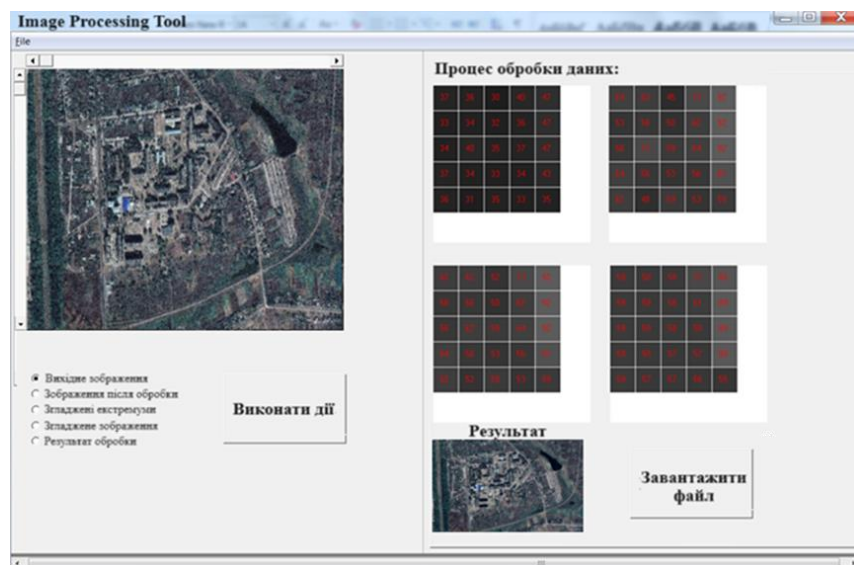


Рисунок 3.11 – Інтерфейс ПЗ «Image Processing Tool»

ПЗ «Image Processing Tool» дозволяє узгоджено вирішувати такі основні завдання.

Завдання градаційної корекції. ПЗ дозволяє виробляти градаційну корекцію знімка. З метою практичного використання для градаційної корекції застосовується:

- базова уніфікована функція виду (3.4), заснована на використанні синусоїдальної моделі корекції (3.8) – (3.10), або
- уніфікована функція виду (3.14), заснована на використанні експоненціально-логічній моделі корекції (3.8), (3.15) – (3.17).

Вибір специфікації моделі та методу при цьому залежить від вимог до результату градаційній корекції, висунутій в додатку. В якості основного для поступової корекції застосовується запропонований вище *hcc* -метод.

В цілому результати комплексного тестування показують помітну перевагу запропонованих в роботі методів поліпшення зображень в порівнянні з аналогами. Наприклад, для значимо затемнених знімків, коефіцієнт c_s зростання контрастності варіюється в діапазоні $[2, \dots, 3]$; для знімка представленого на рисунку 3.15, коефіцієнт $c_s = 2.8$.



Рисунок 3.12 – Еталонне зображення (без шуму)



Рисунок 3.13 – Результати роботи (ліворуч з шумом, праворуч – результат з використанням розроблених методів)

Повністю підтверджуються зроблені в попередньому розділі оцінки ефективності запропонованого в роботі методу підвищення різкості

зображень (рисунок 3.17). При цьому експериментальні оцінки ефективності для зображень показують, що застосування запропонованого методу підвищення різкості для більшості з них призводить в середньому до зростання контрастності об'єктів відносно фону в 1.5 – 2.5 рази.

ВИСНОВКИ

У ході підготовки кваліфікаційної роботи проведено аналіз методів та моделей обробки та фільтрації зображень в комп'ютерній системі. З використанням базової та модифікованої моделі гардаційної корекції розроблено метод корекції зашумленого зображення, який передбачає згладжування в однорідній околиці. Основна ідея методу полягає в тому, щоб наблизити яскравість кожного пікселя зображення до середнього значення відповідної йому лінії рівня в околиці. Також проведено аналіз існуючих методів та моделей фільтрації та обробки зображення, а також моделей корекції та підвищення різкості. Розроблені відповідні програмні засоби корекції зображення, за допомогою яких проведено обчислювальний експеримент, який, в свою чергу, довів ефективність розробленого методу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М. : Вильямс, 2004. – 928 с.
3. Журавлев Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М. : Фазис, 2005. – 159 с.
4. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М. : БИНОМ, 2006. – 752 с.
5. Цифровая обработка изображений в информационных системах / [И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др.]. – Новосибирск : НГТУ, 2002. – 351 с.
6. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт. – М. : Мир, 1976. – 230 с.
7. Грицык В. В. Распараллеливание алгоритмов обработки информации в системах реального времени / В. В. Грицык. – К. : Наукова думка, 1981. – 215 с.
8. Sonka M. Image processing, analysis and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA) : Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
9. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.
10. Шлезингер М. И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. И. Шлезингер, В. Главач. – К. : Наукова думка, 2004. – 545 с.
11. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. Сойфера. – М. : Физматлит, 2003. – 784 с.

12. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т. 1 / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 312 с.
13. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т. 2 / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 480 с.
14. Гренандер У. Лекции по теории образов. Т. 1 / У. Гренандер. – М. : Мир, 1979. – 221 с.
15. Гренандер У. Лекции по теории образов. Т. 2 / У. Гренандер. – М. : Мир, 1981. – 211 с.
16. Скрипка Я.В., Климова І.М. Методи обробки та фільтрації зображень в комп'ютерних системах // Проблеми інформатизації : одинадцята міжнародна науково-технічна конференція. Черкаси – Баку–Харків – Бельсько-Бяла, 2023, т.1, с.79.