

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики

Кафедра теоретичної кібернетики

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

на тему:

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КІЛЬКІСНІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ  
КОМП'ЮТЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

Виконав студент 4-го курсу

Дзюба Михайло Олегович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник:

доцент, кандидат фіз.-мат наук

Трохимчук Ростислав Михайлович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі нема запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Роботу розглянуто й допущено до захисту на засіданні кафедри теоретичної кібернетики

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ р.

протокол № \_\_\_\_

Завідувач кафедри

Крак Ю. В

\_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Ключові слова: ЯКІСТЬ ЗОБРАЖЕННЯ, ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ, УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІНДЕКС ЯКОСТІ

Дана робота складається зі вступу, 7 розділів, списку використаних джерел та додатку. В роботі міститься 21 рисунок та 1 таблиця, загальний обсяг становить 45 сторінок.

Об'єктом роботи є дослідження роботи алгоритмів для визначення якості зображення, порівняння її точності та швидкодії. При розробці програмного засобу для тестування було розібрано роботу згаданих алгоритмів, їх тестування на класифікованій вибірці даних.

Метою даної роботи є дослідження згаданих алгоритмів, визначення їх міцних та слабких сторін.

В основі роботи лежить реалізація алгоритмів на мові Python з подальшим їх тестуванням на класифікованому наборі тестових даних TID2008, побудова графіків залежності, таблиць, судження щодо точності та швидкості роботи даних алгоритмів

Інструменти використані в процесі виконання роботи: мова програмування Python, інтелектуальне середовище розробки Microsoft Visual Studio Code.

Результати роботи: було виконано загальний огляд проблематики оцінки якості зображень, розібрано базові типи викривлень та параметри якості зображень, описано та реалізовано на мові Python два основних і один покращений алгоритми визначення якості зображення, порівняно результати їх роботи: точність та швидкодію.

Отримані результати можна застосувати в практичних задачах для визначення найбільш підходящого алгоритму. Реалізовані модулі доступні у вигляді бібліотечного модуля, який є відкритим та доступним для будь-якого розробника програмного забезпечення.

Новизна роботи полягає в оцінці роботи згаданих алгоритмів та детальному аналізі, порівняння їх швидкодії та точності для означених видів викривлень зображень.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	2
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ТА МЕТОДИ СУБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ	11
1.1 Оцінка якості зображення	11
1.2 Суб'єктивна оцінка якості зображення	11
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИВНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗОБРАЖЕННЯ	13
2.1 Види метрик якості зображень	14
2.2 Математичні метрики	14
2.3 Метрики базовані на сприйнятті візуального зображення людиною (HSV корекція)	15
РОЗДІЛ 3 СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНА ПОХИБКА, ПІКОВЕ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛУ ДО ШУМУ	16
3.1 Середньоквадратична похибка (СКП)	16
3.1.1 Математичне означення	16
3.2 Пікове відношення сигналу до шуму	17
РОЗДІЛ 4 Універсальний індекс якості зображення	18
4.1 Математичне означення	18
4.2 Алгоритм застосування універсального індексу якості зображення до зображення	19
РОЗДІЛ 5 Основні характеристики якості зображення	21
5.1 Чіткість	21
5.2 Цифровий шум	21

	5
5.2.1 Гаусівський шум	22
5.2.2 Шум сіль-перець	23
5.2.3 Дробовий шум	23
5.2.4 Плівковий шум	24
5.3 Динамічний діапазон	25
5.4 Контрастність	26
5.5 Дисторсія	26
5.5.1 Бочкоподібна дисторсія	27
5.5.2 Подушкоподібна дисторсія	27
5.5.3 Складна дисторсія	28
5.6 Хроматичні аберації	29
РОЗДІЛ 6 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ	31
6.1 Характеристики системи на якій здійснювалось тестування	31
6.2 Microsoft Visual Studio Code	31
6.3 Мова програмування Python	32
РОЗДІЛ 7 ТЕСТУВАННЯ МЕТРИК НА ВИБІРЦІ TID2008	33
7.1 Тестова вибірка зображень	33
7.2 Мета тестування	34
7.3 Оцінка впливу типу викривлень на розрахунок якості зображення	35
7.3.1 Висновок	38
7.4 Оцінка коефіцієнту кореляції між обрахованою оцінкою якості та середньої якості зображення	39
7.4.1 Висновок	39
7.5 Порівняння швидкодії	39
7.5.1 Висновок	40

	6
7.6 Висновок	40
ВИСНОВКИ	42
ДОДАТКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕОМ — електро-обчислювальна машина;

ПЗП — постійний запам'ятовувальний пристрій;

МЯЗ — метрика якості зображення;

ДКП — дискретне косинусне перетворення;

ДД — динамічний діапазон;

СКП — середньоквадратична похибка;

ПВСШ — пікове відношення сигналу до шуму;

## ВСТУП

### **Оцінка сучасного стану об'єкта розробки.**

З відкриттям польових та біполярних транзисторів людство надзвичайно швидкими темпами почало освоювати обчислювальну техніку, яка з кожною ітерацією її проектування та виробництва ставала все більш потужною. Персональні ЕОМ перестали бути рідкістю уже в 70х-80х роках 20-го сторіччя. Технічний та індустріальний прорив викликаний успіхами у дослідженні напівпровідникових матеріалів безпосередньо торкнувся і області обробки та збереження візуальної інформації. Плівкові та інші аналогові фотокамери почали замінюватись їх цифровими варіантами із напівпровідниковими світлочутливими матрицями.

Процес хімічного запам'ятовування, спроектованого через об'єктив, зображення змінився на обробку електронних сигналів із сенсору фотокамери. Сира інформація, яка міститься безпосередньо на матриці відразу після моменту закриття затвору камери (під даним процесом може матись на увазі як фізичне закриття затвору, так і припинення накопичування фотонів з наступним зчитуванням і зануленням кожного елемента матриці) передається в блок пам'яті пристрою, оброблюється там, перекодовується у зручний для подальшої обробки формат, стискується та записується на ПЗП. Після успішного збереження користувач має змогу зчитати це зображення та переглянути його на доступному пристрої виведення, проте, саме зображення вже не є абсолютно точною копією того, що було спроектовано на світлочутливу матрицю. На етапах обробки зображення піддається різним видам спотворення: розмиття руху, стиснення з втратами, Гаусівський шум, недоліками світлочутливого сенсору, тощо. Всі ці спотворення так чи інакше впливають на сприйняття кінцевого зображення людиною і часто є небажаними, а отже потенційно мають існувати методи для ведення контролю якості або її покращення. Одним з таких методів є введення МЯЗ — параметр, який після обробки зображення алгоритмом буде давати числову характеристику його якості. В загальному випадку існує два методи

отримання МЯЗ: суб'єктивний метод оцінки та об'єктивний метод оцінки. Суб'єктивний метод полягає в оцінці зображення з допомогою людини, в той час як об'єктивний — використовує лише обчислювальні потужності ЕОМ. З факту, що людина є головним користувачем більшості мультимедійних систем та застосунків впливає те, що саме вона може дати найбільш точну та надійну оцінку, враховуючи свій досвід та вподобання. Проте, даний метод має достатньо багато недоліків: повільність, дороговизна в практичному використанні на великих об'ємах даних, необ'єктивність (різні люди можуть давати різну оцінку). Основною ціллю стає створення такого МЯЗ, який би не використовував суб'єктивну складову в оцінці, але при цьому мав би найбільше наближення до неї.

#### **Актуальність роботи та підстави для її виконання.**

В сучасному світі проблема кількісної оцінки зображення є актуальною, як ніколи. З приходом в маси мобільних пристроїв із можливістю робити фотознімки процес генерації зображень вийшов на новий рівень. Такі великі фото сервіси як: jetphotos.com, shutterstock.com та інші вимагають швидкої та якісної реакції на завантаження нових фотознімків, адже їх бізнес-модель побудована на продажу якісних зображень, які із великою долею ймовірності сподобаються користувачам. На даний момент подібні сервіси використовують багато неавтоматизованої людської роботи на всіх етапах модерації, що значно збільшує час обробки запитів на публікацію та операційні розходи. Також велику проблему складає аналіз та контроль зображення на присутність на них різних видів викривлень. Даний тип задач часто використовується в об'єктивних системах контролю з використанням камера на виробництвах, в системах моніторингу безпеки і так далі.

**Метою** даної кваліфікаційної роботи є написання системи для порівняння базових та покращених алгоритмів визначення якості зображення для вибору найкращого з них.

Кроками для досягнення поставленої мети є такі **завдання**:

- Опанування необхідних бібліотек в мові Python;
- Вивчення алгоритмів визначення якості зображення;
- Пошук класифікованого набору даних для проведення аналізу алгоритмів;
- Написання програми, яка буде повертати МЯЗ;
- Порівняння алгоритмів та отримання висновків на базі роботи програми, вибір найкращого алгоритму та висування ідей щодо його застосування в прикладних задачах оцінки зображень;

**Об'єкт розроблення** — процес розробки програми, яка буде повертати МЯЗ поданих на вхід алгоритму зображень. Порівняння результату роботи алгоритмів із якісно класифікованим набором зображень.

**Засобом розроблення** програми буде інтегроване середовище розробки Visual Studio Code та мова Python версії 3.9.4. Дане середовище розробки та мова програмування є безкоштовними та мають PSF і MIT ліцензії відповідно. Мова програмування Python є мультипарадигмовою з підтримкою об'єктно-орієнтованого, процедурного, імперативного та функціонального програмування.

#### **Взаємозв'язок з іншими роботами.**

Дану роботу було виконано на основі відомих алгоритмів отримання МЯЗ та теоретичних відомостей про них.

# РОЗДІЛ 1 ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ЇЇ СУБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ

## 1.1 Оцінка якості зображення

Зазвичай якість зображення оцінюють виходячи із прояву викривлень на зображенні. Цими викривленнями можуть бути зсув кольорів в областях з більшим контрастом, Гаусів шум, розмитість, відображення посторонніх об'єктів спричинені оптичною системою пристрою. Зазвичай для моделювання ефективного МЯЗ використовується підрахунок та кількісна оцінка видимості даних викривлень. Наприклад алгоритм JDN (Just Noticeable Difference) [1] передбачує суб'єктивну оцінку зображення досліджуючи видимість викривлень на ньому. R. Janssen [1] запропонував новий підхід оцінки. Він змінив формальний підхід до зображення як до двох вимірної матриці сигналів розглянувши його як носій зорової інформації. Візуально-когнітивна обробка була замінена на обробку інформації, а не обробку сигналів, а оцінка якості зображення як його адекватність в процесі візуальної взаємодії, а не оцінки його спотворень. Дана концепція була зустрінута позитивно проте більшість алгоритмів працюють на старій концепції оцінки викривлень у зв'язку з її простотою, швидкодією та припустимою точністю.

## 1.2 Суб'єктивна оцінка якості зображення

Більшість суб'єктивних експериментів щодо визначення якості зображення виконуються згідно ITUR BT.500-10 [1]. Суб'єктивна оцінка зображення проводиться використовуючи психологічні методики подвійно та одинарної стимуляції залежно від вихідного зображення (ідеальне зображення) .

У методі подвійної стимуляції оцінювачу надають вихідне зображення та його тестові обробки перш ніж почати їх оцінку, використовуючи лінійну шкалу якості (рис 1.1).

У методі одинарної стимуляції оцінювач, використовуючи (рис. 2.1). оцінює тестові зображення без використання вихідного зображення, як опорного. Далі



Рисунок 1.1

оцінки різних оцінювачів усереднюють для отримання середнього балу якості кожного зображення.

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИВНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗОБРАЖЕННЯ

Об'єктивні МЯЗ можна класифікувати відповідно до наявності оригінального (без викривлень) зображення, з яким буде порівняно зображення із викривленнями.

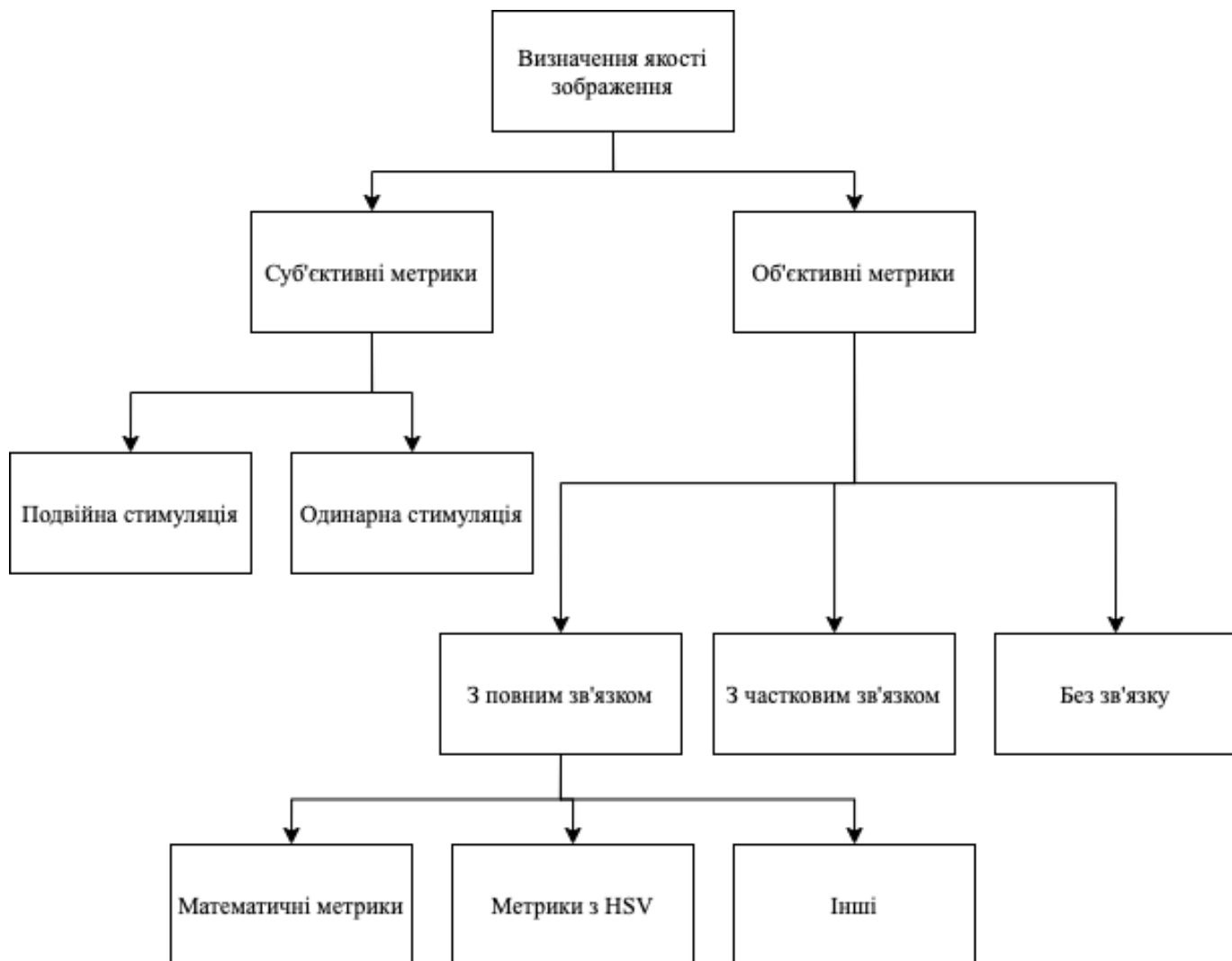


Рисунок 2.1

у

## 2.1 Види метрик якості зображень

Найбільш відомі алгоритми визначення МЯЗ використовують повний зв'язок (рис. 2.1). Це означає, що для роботи алгоритму нам потрібно мати додатково до викривленого зображення ще і його копію без викривлень взагалі. Проте у більшості прикладних задач ідеальне зображення недоступне, а отже використовуються підходи «сліпої» оцінки метрики. У третьому типі методів, методів із частковим зв'язком, без викривлень доступними є лише частини зображення, вони використовуються алгоритмом для уточнення МЯЗ викривленого зображення.

Дана робота розглядає алгоритми визначення МЯЗ із повним зв'язком де якість зображення оцінюється в процесі порівняння зображення із викривленнями та його копії без викривлень. Існує два основних підходи визначення МЯЗ із повним зв'язком: математичні метрики та метрики, що базуються на сприйнятті візуального зображення людиною.

## 2.2 Математичні метрики

Дані метрики розглядають зображення як двох вимірні матриці сигналів які порівнюються між собою і в залежності від їх схожості або навпаки їх відмінності обраховують метрику якості. Одними з найпопулярніших алгоритмів отримання МЯЗ в об'єктивній математичній оцінці зображення є алгоритм базований на середньоквадратичній похибці та її модифікації — піковому відношенню сигналу до шуму. Ці два методи часто використовуються в прикладних задачах через їх простоту, чіткий математичний та фізичний смисл, простоту в оптимізації у контексті швидкості обчислень.

### 2.3 Метрики базовані на сприйнятті візуального зображення людиною (HSV корекція)

Метрики даного типу використовують в собі математичні метрики, проте мають суттєві покращення в точності [2]. Різниця між референтним зображенням та тестовим нормалізується з урахуванням психофізичного сприйняття людиною. HSV функції які часто використовуються:

- Контрастно-чутлива функція. Людське сприйняття більш чутливо до менших частот у просторі ніж вищих тому деякі МЯЗ використовуються дану функцію для корекції частотних діапазонів після їх розкладу [2];
- Функція світло-контрастної чутливості. Людське око краще сприймає контраст яскравості ніж абсолютне значення яскравості. Враховуючи правило Веббера: для низьких фонових значеннях яскравості (темний фон) коефіцієнт чутливості буде збільшуватись якщо фонові яскравість буде зменшуватись. Цей ефект часто моделюється в різних МЯЗ які використовують поправки HSV

Загальна архітектуру метрики побудованої на HSV представлена на (рис. 2.2).

Покращення метрики HSV корекцією представлені у фазі попередньої обробки, нормалізації помилки та накладання маски. Стадія «розкладання каналів» використовуються для перетворення пікселів зображення у незалежні просторові під-діапазони, що може покращити якість та швидкість роботи метрики. Деякі із перетворень використовуються вейвлет-перетворення та ДКП.

У даній роботі буде розглянуто суто математичні метрики без використання покращення HSV.



Рисунок 2.2

## РОЗДІЛ 3 СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНА ПОХИБКА, ПІКОВЕ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛУ ДО ШУМУ

### 3.1 Середньоквадратична похибка (СКП)

Середньоквадратична похибка між двома зображеннями вимірює наскільки пікселі одного співпадають із іншим. Основною задачею даного алгоритму є порівняння двох сигналів та повернення скалярного значення, яке описує ступінь схожості. Для коректної роботи такого способу на вхід потрібно подавати два зображення: зображення із викривленнями та його «ідеальну» копію без викривлень. Чим більше значення схожості — тим менше викривлень є на тестовому зображенні.

#### 3.1.1 Математичне означення

Нехай  $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  та  $y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  два скінченні вектори сигналів (у нашому випадку сигнали — значення пікселі), де  $N$  — розмірність векторів (кількість наших пікселів у зображенні) [3]. Тоді середньоквадратична похибка буде рівною:

$$MSE(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

З формули видно, що похибка для окремого пікселя рахується за формулою:  
 $x_i - y_i$ .

Для зображення з глибиною простору 8 біт  $x_i$  та  $y_i$  лежатимуть у діапазоні  $x_i \in [0, 255]$  та  $y_i \in [0, 255]$  відповідно. Дану особливість можна вважати недоліком, адже глибина простору зображення на пряму впливає на різницю відповідних пікселів двох зображень.

### 3.2 Пікове відношення сигналу до шуму

Пікове відношення сигналу до шуму (ПВСШ) означає відношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, який його викривлює. У зв'язку з тим, що більшість сигналів мають широкий динамічний діапазон значень дана величина має логарифмічну шкалу і вимірюється у децибелах. Дуже часто ПВСШ використовують в якості МЯЗ для визначення викривлень зображення. Його найпростіше виразити через СКП:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE} \quad (2)$$

Де  $L$  — динамічний діапазон допустимих значень інтенсивності пікселів. Він залежить від глибини простору зображення, тобто якщо зображення має 8-бітну глибину  $L = 255$ .

Дані два методи хоч і мають ряд недоліків, наприклад: ігнорування людських психофізичних можливостей, проте досі часто використовуються у вирішенні прикладних задач. По-перше їх дуже просто обчислювати з точки зору ЕОМ, по-друге вони не залежать від окремих оцінювачів зображення та умови при яких вони їх переглядають. Вважається [4], що умови перегляду грають важливу роль в тому, як людина сприйме та оцінить те чи інше зображення. Дані умови не можуть бути фіксованими, а тому коригування системи обробки зображень під даний параметр є важким і довгим процесом.

На даний момент СКП та ПВСШ застосовуються до різних типів обробки та порівняння якості зображень з різними видами викривлень, проте їх точність в таких універсальних задачах залишається сумнівною, а отже проблема вимагає іншого підходу її вирішення.

## РОЗДІЛ 4 Універсальний індекс якості зображення

Враховуючи всі проблеми у використанні СКП та ПВСШ в якості МЯЗ, було розроблено універсальний індекс якості зображення (УІЯЗ) [3]. Під словом «універсальний» мається на увазі, що дана метрика не залежить від зображень на яких тестується, від умов оцінки та від індивідуальних оцінювачів.

### 4.1 Математичне означення

Нехай  $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  та  $y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  — відповідні вектори значень пікселів зображень. Запропонований індекс універсальної якості дорівнює:

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \quad (1)$$

де

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (4)$$

Динамічний діапазон  $Q \in [-1, 1]$ . Найкраще значення 1 досягається лише за умови  $y_i = x_i \forall i = 1, 2, \dots, N$ . Найменше значення -1 досягається при  $y_i = 2\bar{x} - x_i \forall i = 1, 2, \dots, N$ .

Дана метрика моделює будь яке викривлення як комбінацію трьох факторів: втрата кореляції, викривлення по яскравості та по контрасту. Для кращого розуміння перепишемо  $Q$  як добуток цих трьох факторів:

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_y^2 + \sigma_x^2} \quad (5)$$

Перший добуток виражає коефіцієнт кореляції між  $x$  та  $y$  який виражається у вигляді лінійної кореляції між  $x$  та  $y$ , динамічний діапазон лежить у проміжку  $[-1, 1]$ . Найкраще значення 1 досягається коли  $y_i = ax_i + b \forall i = 1, 2, \dots, N$ .  $a$  та  $b$  — константи, при чому  $a > 0$ . Навіть у випадку коли  $x$  та  $y$  мають лінійний зв'язок, між ними все одно може існувати відносно викривлення, яке виражається у другому та третьому добутку.

Другий добуток лежить в проміжку  $[0, 1]$  та виражає наскільки близькими по яскравості є компоненти  $x$  та  $y$ . Значення другого добутку буде рівним 1 тільки у випадку  $\bar{x} = \bar{y}$ .  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$  розглядаються як оцінка контрасту між  $x$  та  $y$ , тому третій добуток визначає, наскільки схожими є зображення по контрасту.

Значення третього добутку лежать в проміжку  $[0, 1]$ , де найкраще значення 1 досягається лише при  $\sigma_x = \sigma_y$ .

## 4.2 Алгоритм застосування універсального індексу якості зображення до зображення

Значення пікселів у зображеннях мають є нестационарними, при цьому зображення часто просторово неоднорідне. На практиці, при застосуванні метрик, зображення аналізується повністю, тобто з усіх значень пікселів формується вектор, який потім за один захід передається в алгоритм і отримується загальний результат якості. Отже, більш правильним буде аналізувати зображення ділянками.

На зображенні обирається сегмент розмірами  $B \times B$  та рухається вертикально і горизонтально так, щоб в результаті були покриті всі колонки і всі стрічки зображення, поки не буде досягнуто нижнього лівого кута. На  $j$ -му кроці, розраховується локальний індекс  $Q_j$ , який відноситься до конкретного  $j$ -го рухомого сегменту. Нехай кількість зсувів рухомого сегменту буде  $M$ . Тоді загальний індекс якості можна отримати за формулою:

$$Q = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Q_j \quad (6)$$

Дану послідовність дій можна виразити у вигляді блок-схеми, для кращого розуміння (рис. 7.1, ДОДАТОК А).

## РОЗДІЛ 5 Основні характеристики якості зображення

Якість зображення залежить від багатьох факторів. Різні люди можуть по різному оцінити цей параметр, виходячи із свого досвіду. Проте, є декілька основних атрибутів якості, які на пряму впливають на загальну його оцінку.

### 5.1 Чіткість

Термін чіткості вказує наскільки багато деталей може містити на собі зображення (рис. 5.1). На цей параметр впливають оптико-електронні властивості пристрою, який робить та оброблює зображення: якість лінз, наявність оптичного просвітлення, розміри; властивості світлочутливого сенсору, наявність на фільтру згладжування, кількість пікселів. Також прямий вплив складають зовнішні чинники, при яких зображення робилось: точність фокусу, стан атмосфери.

Втрата чіткості може бути компенсована штучно, при обробці зображення. Проте можливості такого способу є обмеженими, адже вихідне зображення з поганою початковою чіткістю містить обмежені дані про реальний простір, а отже в ході пере-обробки будуть виникати артефакти у вигляді скачку контрастності в різних його областях.



Рисунок 5.1

### 5.2 Цифровий шум

Цифровий шум це випадкові зміни яскравості та кольору в різних випадкових місцях на зображенні. Зазвичай дане явище спричинено електронним

шумом, який утворюється на світлочутливому сенсорі через недосконалі технології та квантову природу світла. Дане явище найкраще проявляється на знімках які були зроблені в умовах недостатньої яскравості та при використанні високих значень світлочутливості.

Цифровий шум має декілька головних типів.

### 5.2.1 Гаусівський шум

Гаусівський шум — статичний шум у якого щільність ймовірності дорівнює щільності ймовірності нормального розподілу (рис. 5.2). Основні джерела Гаусівського шуму в цифрових зображеннях з'являються при отриманні сенсорного шуму, який викликаний поганими умовами освітленості та/або високими температурами. Гаусівський шум може бути знижений в процесі обробки зображення, для цього використовується спеціальний фільтр, який трохи розмиває зображення в результаті чого зображення може втратити деталі і як наслідок мати погану чіткість.

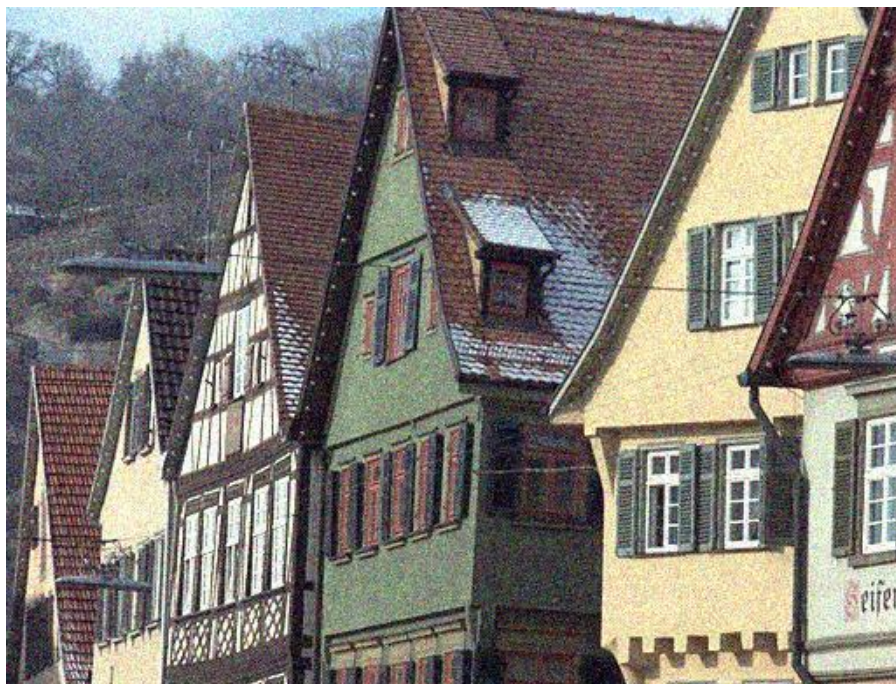


Рисунок  
5.2

### 5.2.2 Шум сіль-перець

Шум солі і перцю має таку назву через випадкове чередування білих та чорних частинок на зображенні. Даний вид шуму має імпульсну природу та викликаний швидкими перехідними процесами в світлочутливій матриці, наприклад через неправильно комутацію.



Рисунок 5.3

### 5.2.3 Дробовий шум

Дробовий шум являє собою випадкові флуктуації та зміни числа частинок відносно їх середнього значення пов'язану із їх дискретністю. Дробовий шум проявляється у вигляді флуктуації токів в електричних приборах. Переміщення кожного носія заряду в контурі через уявну поверхню викликає сплеск струму в ланцюзі через дискретність носія електричного заряду. Для фотонів даний ефект

проявляється через реєстрацію числа фотонів дискретним детектором – матрицею (рис. 5.4).

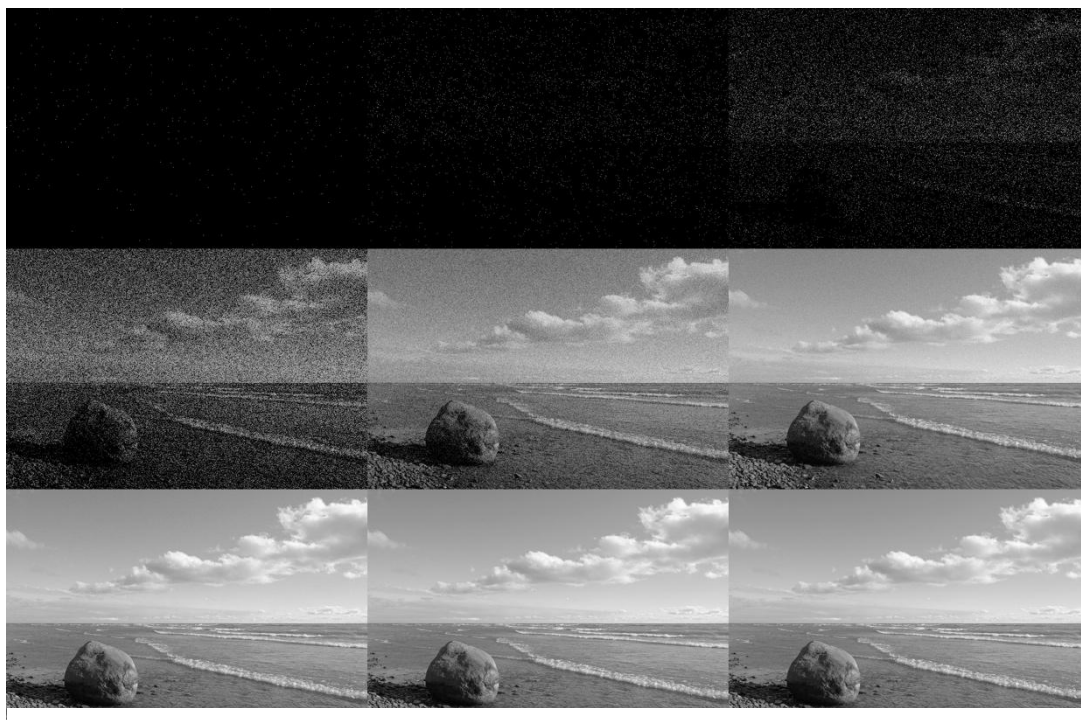


Рисунок 5.4 — Число фотонів на піксель збільшується з ліва на право та зверху в низ.

#### 5.2.4 Плівковий шум

Шум на плівкових зображеннях або грануляція — сигнало-залежний шум, який має статистичний розподіл дробового шуму (рис. 5.5). Якщо гранули на плівці розповсюдженні рівномірно (однакова їх кількість на одиницю площі) та кожна гранула має власну незалежну ймовірність набути темного або світлого кольору після поглинення фотонів, то кількість цих гранул буде випадковою та матиме біноміальний розподіл. В областях з низькою ймовірністю розвинення даного процесу розподіл дуже близький до розподілу Пуассона та добре моделюється Гаусівським шумом.

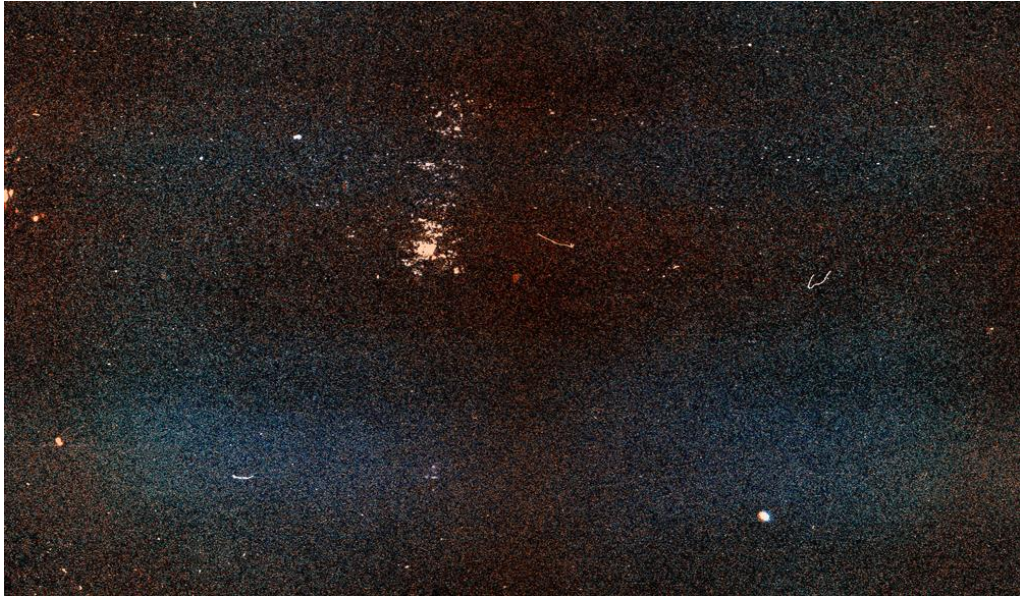


Рисунок 5.5

### 5.3 Динамічний діапазон

Динамічний діапазон (ДД) — максимальний світловий діапазон, який може розрізнити світлочутливий сенсор. Вимірюється у EV (Exposure Value).

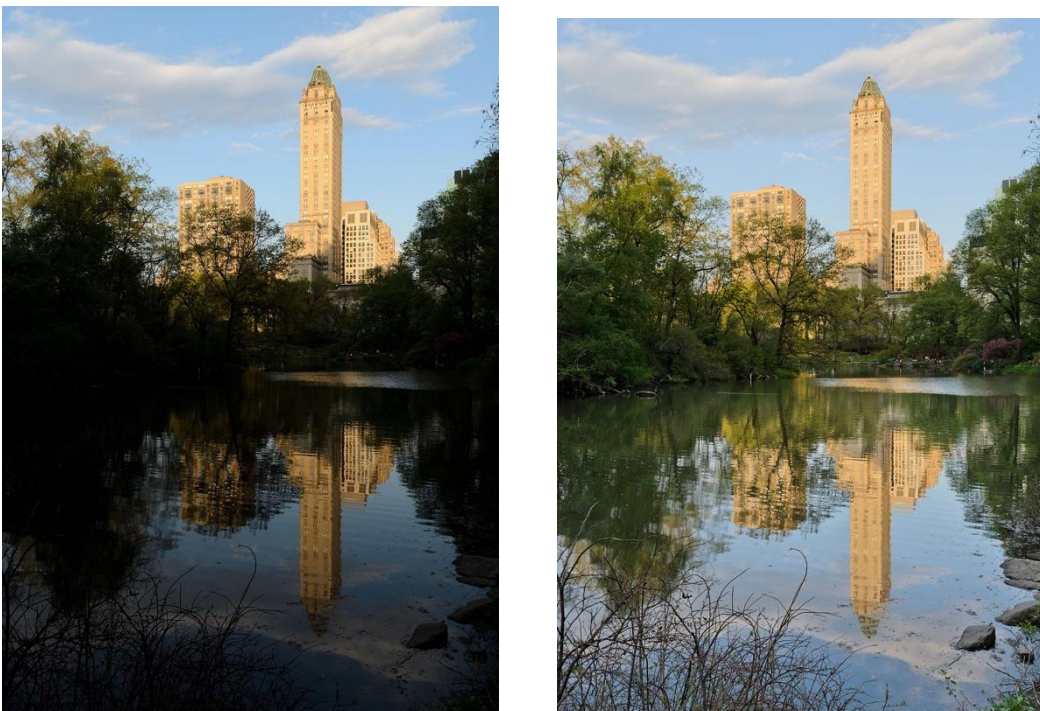


Рисунок 5.6

Видима різниця у ДД фотокамер. Права фотокамера має вигреш у 13.9 EV в порівнянні з лівою камерою.

## 5.4 Контрастність

Контрастність зображення описує те, наскільки сильно можна відрізнити об'єкт на ньому. З візуальної точки зору контраст визначається різницею в кольорі та яскравості між різними об'єктами в одному полі зору.



Рисунок 5.7

Контрастність зліва менша за контрастність справа

## 5.5 Дисторсія

Дисторсія є одним з оптичних дефектів при якому коефіцієнт лінійного збільшення змінюється по мірі віддалення уявних предметів від оптичної осі. При даному виді викривлень порушується геометричні подібності між об'єктами та зображенням.

Дисторсія може мати абсолютно різні форми, проте найбільш поширеними є дисторсії з радіальною симетрією. Радіальні дисторсії класифікуються на бочкоподібну, подушкоподібну та на складну.

### 5.5.1 Бочкоподібна дисторсія

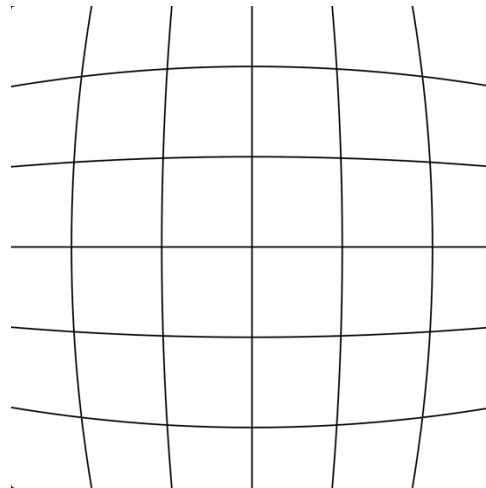


Рисунок 5.8

Бочкоподібна дисторсія викривлює зображення так, що його центральна частина збільшується по мірі наближення до оптичної осі, при цьому по мірі віддалення — зображення зменшується. Подібний вид дефектів присутній на об'єктивах з малою фокусною відстанню через те, що даний вид об'єктивів використовує бочкоподібну дисторсію як спосіб відображення нескінченної ширини площину об'єкта у скінченну площу зображення.

### 5.5.2 Подушкоподібна дисторсія

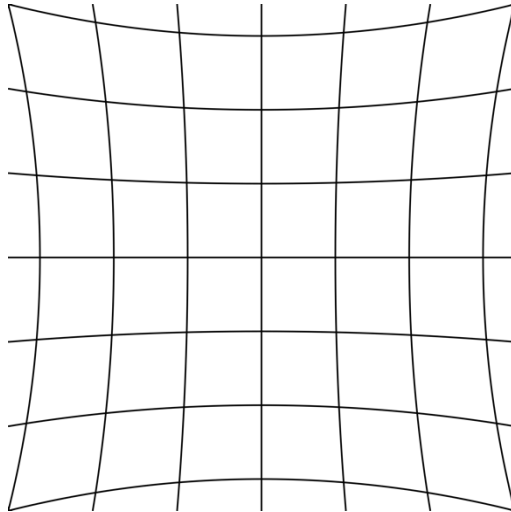


Рисунок 5.9

Подушкоподібна дисторсія має обернений ефект до бочкоподібної дисторсії, це значить, що при наближенні до оптичної осі — об'єкти зменшують, відповідно при віддаленні — збільшуються.

### **5.5.3      Складна дисторсія**

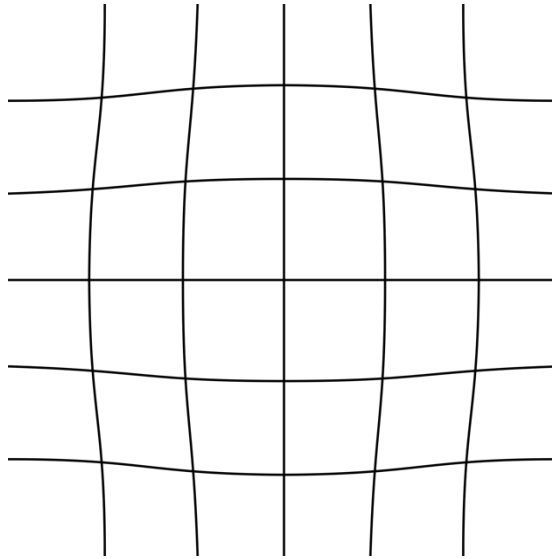


Рисунок 5.10

Даний вид дисторсій має складну форму та є поєднанням бочкоподібної та подушкоподібної дисторсії. В центральній області проєкції спостерігається наближення уявних об'єктів при наближенні до центральної осі, при цьому, якщо почати віддалятися від неї — об'єкти спочатку почнуть зменшуватись, виражаючи бочкоподібний ефект, а потім знову почнуть збільшуватись, виражаючи подушкоподібний ефект.

### 5.6 Хроматичні аберації

Явище хроматичних аберацій проявляється через неможливість об'єктивом



Рисунок 5.11

Добре видно фіолетовий орел навколо голови гієни в результаті дії явища хроматичної аберації

та/або лінзою сфокусувати всі уявні промені в одну точку. Це трапляється через хвильову природу світла: світло різних довжин має різний коефіцієнт відбиття та заломлення в одній і тій ж речовині. Таким чином, проходячи через оптичну систему об'єктиву або через простір з неоднорідними оптичними якостями, фотони з різною довжиною хвилі відхиляються від попередньої траєкторії та формують небажаний ореол іншого кольору на проекції. Подібний ефект дуже добре спостерігається в умовах малого відносного отвору об'єктиву, в такий момент світлові промені піддається додатковим дифракційним викривленням та підсилюють ефект хроматичної аберації від самого скла.

Так як дана робота сфокусована на оцінці зображення з використанням метрик повного зв'язку, тут не буде розглянуто метрики які спричинені викривлення оптичними приборами які проектують зображення на світлочутливу матрицю. Для таких змін потрібно використовувати метрики частково або нульового зв'язку. Натомість в цій роботі буде розглянуто оцінку зображень із шумовими викривленнями, викривленнями пов'язаними з накладанням Гаусівського розмиття та контрастних змін.

## РОЗДІЛ 6 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ

Система тестування була розроблена з використанням інтелектуального середовища розробки Visual Studio Code. Сама ж система була написана на мові Python та з використанням бібліотек з відкритим вихідним кодом та ліцензією GNU.

### 6.1 Характеристики системи на якій здійснювалось тестування

- Операційна система macOS Big Sur 11.3.1
- Центральний процесор Intel Core i7-9750H з тактовою частотою 2.6-4.5 GHz, 6 ядр, 12 потоків
- Оперативна пам'ять 16 GB
- Графічний прискорювач №1 Intel UHD Graphics 630 1536 MB зарезервованої відео пам'яті
- Графічний прискорювач №2 AMD Radeon Pro 5300M 4000 MB зарезервованої відео пам'яті
- Внутрішній накопичувач SSD об'ємом 512 GB, швидкістю читання запису 2.5 GB/c та 2 GB/c відповідно, циклів запису та читання 80 TB та 73 TB відповідно, з вільними 77 GB на момент тесту.

### 6.2 Microsoft Visual Studio Code

Microsoft Visual Studio Code — редактор вихідного коду, який був розроблений компанією Microsoft для операційних систем Windows, Linux, macOS. Даний редактор має повний функціонал для обробки та зміни вихідного коду широкого спектру мов програмування, має в собі можливість встановлення сторонніх підпрограм для спрощення рутинних задач, вбудований відладчик системних та веб застосунків, підсвітку синтаксису, автоматичного доповнення IntelliSense та засоби для швидкого і ефективного рефакторингу. Вагомим плюсом

даного середовища розробки є його малий розмір, займаний на жорсткому пристрої, та низька вимогливість до ресурсів системи. Дане середовище розповсюджується безкоштовно, розробляється як ПЗ з відкритим вихідним кодом (MIT), проте готові збірки розповсюджуються під пропрієтарною ліцензією.

Visual Studio Code базується на крос-платформовому фреймворку Electron, розробка GitHub.

### 6.3 Мова програмування Python

Python — високорівнева мова програмування загального призначення з динамічною строгою типізацією і автоматичним керуванням пам'яті, орієнтованим на збільшення ефективності розробника.

Синтаксис даної мови розроблений у мінімалістичному стилі, за рахунок чого розробнику не потрібно часто звертатися до документації.

Мова являється повністю об'єктно-орієнтованою, абсолютно все в ній є об'єктом. Також Python класифікується як інтерпретована мова і використовується в тому числі для написання скриптів.

Python є мультипарадигмовою мовою програмування, яка підтримує імперативне, процедурне, об'єктно-орієнтоване та функціональне програмування.

Еталонною реалізацією Python є інтерпретатор CPython, написаний на C++. Він підтримує більшість популярних платформ і де-факто є стандартом для мови. CPython розповсюджується у вигляді безкоштовної ліцензії PSFL [4], яка дозволяє його використання без обмежень, в тому числі і в розробці пропрієтарних технологій.

## РОЗДІЛ 7 ТЕСТУВАННЯ МЕТРИК НА ВИБІРЦІ TID2008

### 7.1 Тестова вибірка зображень

Для тестування метрик було обрано базу даних TID2008 [4], яка містить в собі набір вихідних референтних зображень та їх копій із викривленнями. Головною перевагою даної бази є те, що референтні зображення були змінені за допомогою 17-ти різних типів викривлень у 4 стадії. Таким чином було зручно обирати потрібні для оцінки типи викривлень. Також всі зображення, і референтні, і з викривленнями, були класифіковані спеціалістами в області обробки комп'ютерних зображень з використанням одинарної стимуляції, завдяки цьому було отримано середню оцінку якості зображення. В оцінці зображень приймали участь 838 оцінювачів із 3-х країн: Італії, Фінляндії, України. Всього в базі TID2008 знаходиться 1700 зображень у форматі BMP [5].

В даному експерименті було використано такі типи викривлень:

- Адитивний Гаусівський шум;
- Імпульсний шум;
- Високочастотний шум
- Гаусівське розмиття;
- Стиснення зображення формату JPEG;
- Помилки у передачі зображень у форматі JPEG;
- Контрастні зміни;

Саме такий перелік викривлень був обраний з міркувань моделювання реальних змін в зображенні, які можуть бути спричинені тими чи іншими факторами, наприклад недоліками в світлочутливому сенсорі, збоями в обладнанні які спричинили відсутність консистентності даних та пробіли в зображеннях, розмиття спричинене поганими оптичними якостями або через відсутність фокусу на зображенні, зміни контрасту в результаті навмисного редагування зображення.

## 7.2 Мета тестування

Метою даного тестування є перевірка результату роботи описаних вище алгоритмів, а саме: методу середньоквадратичної похибки, методу пікового відношення сигналу до шуму та універсальний індекс якості зображення, порівняння їх швидкодії та визначення точності. Завдяки вказаним у тестовій вибірці середніх оцінок якості зображень буде пораховано коефіцієнти кореляції Спірмана для визначення залежності зв'язку між результатами роботи тестових алгоритмів та реальними оцінками людей.

### 7.3 Оцінка впливу типу викривлень на розрахунок якості зображення

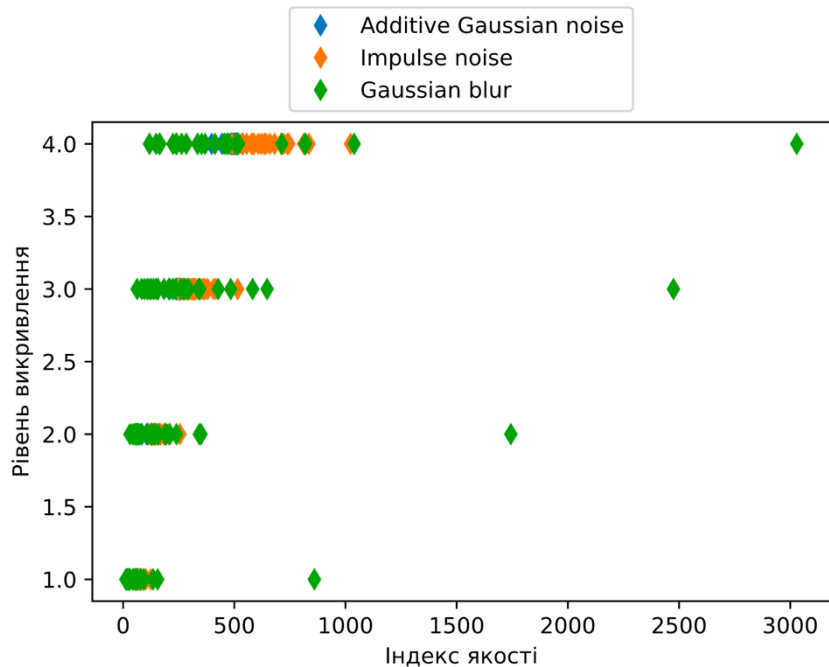


Рисунок 7.1

Результат досліджень для СКП, значення правіше відображають гіршу якість

Для визначення впливу типу викривлень на реакцію метрики було побудовано 6 графіків у яких відображено рівень викривлення та індекс якості отриманий при обрахунках для кожного окремого типу викривлення.

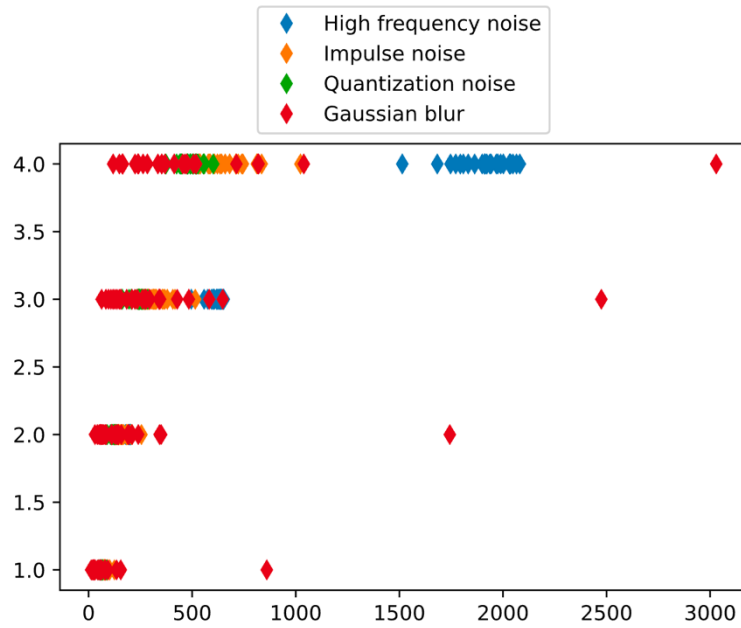


Рисунок 7.2

Результат досліджень для СКП, значення правіше відображають гіршу якість

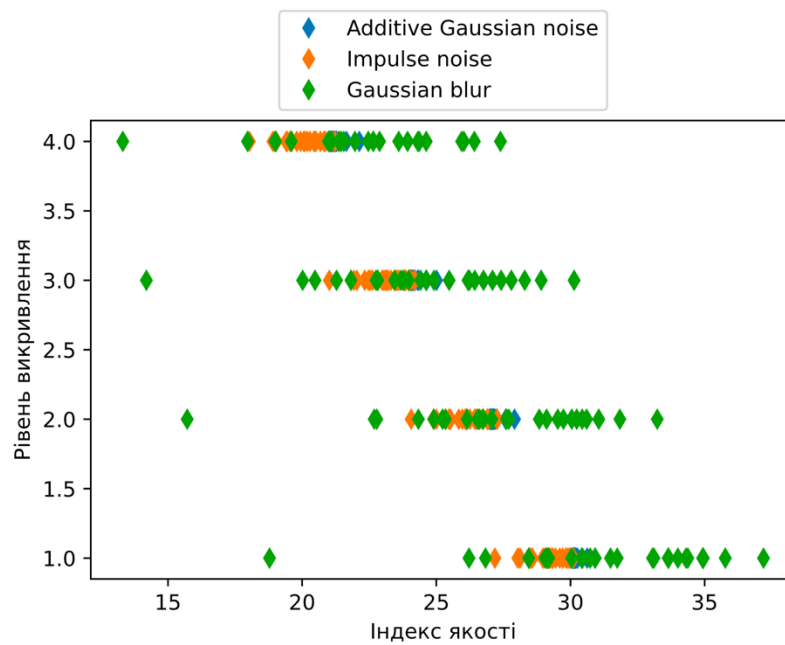


Рисунок 7.3

Результат роботи для ПВСЦ, значення лівіше відображають гіршу якість

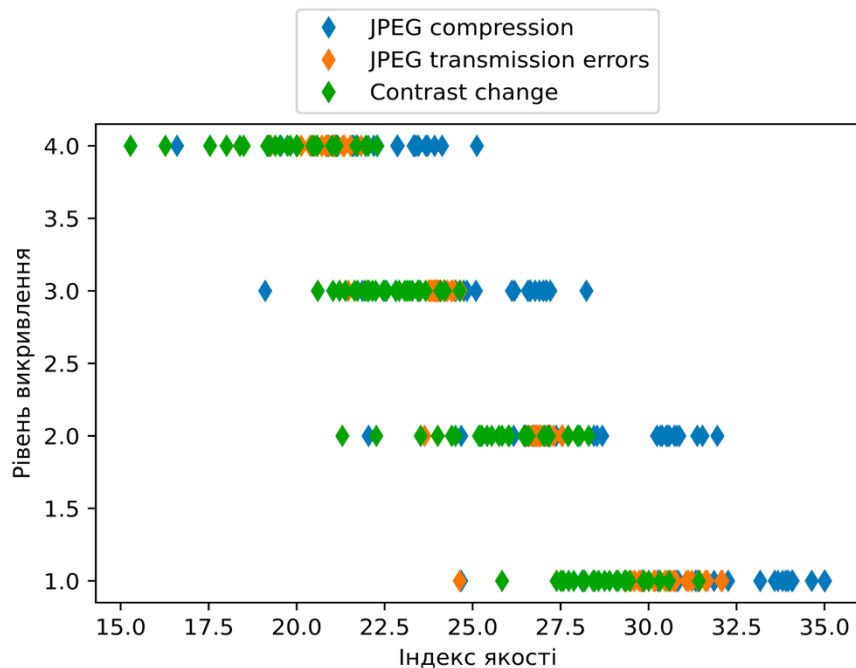


Рисунок 7.5

Результат роботи для ПВСШ, значення лівіше  
відображають гіршу якість

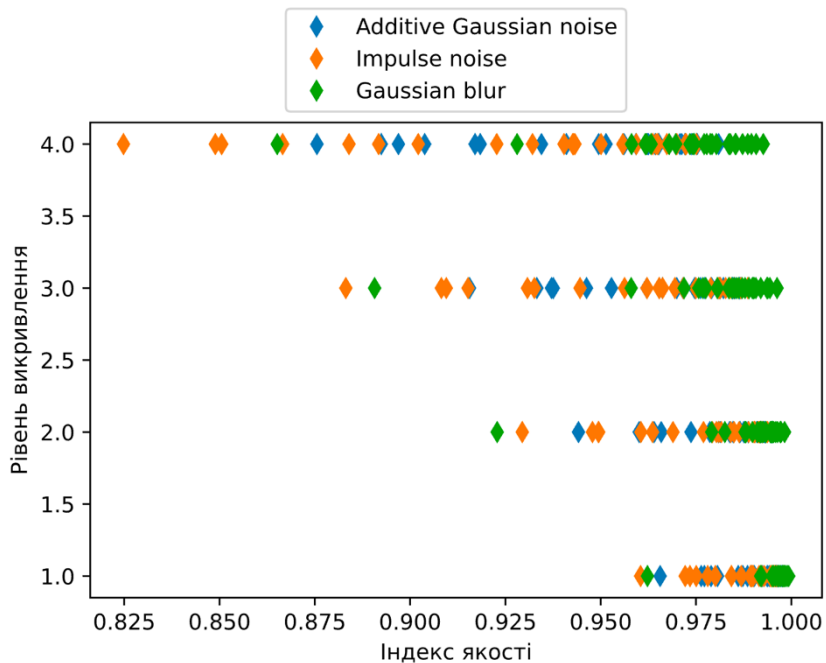


Рисунок 7.4

Результат роботи УІЯЗ, значення лівіше  
відображають гіршу якість

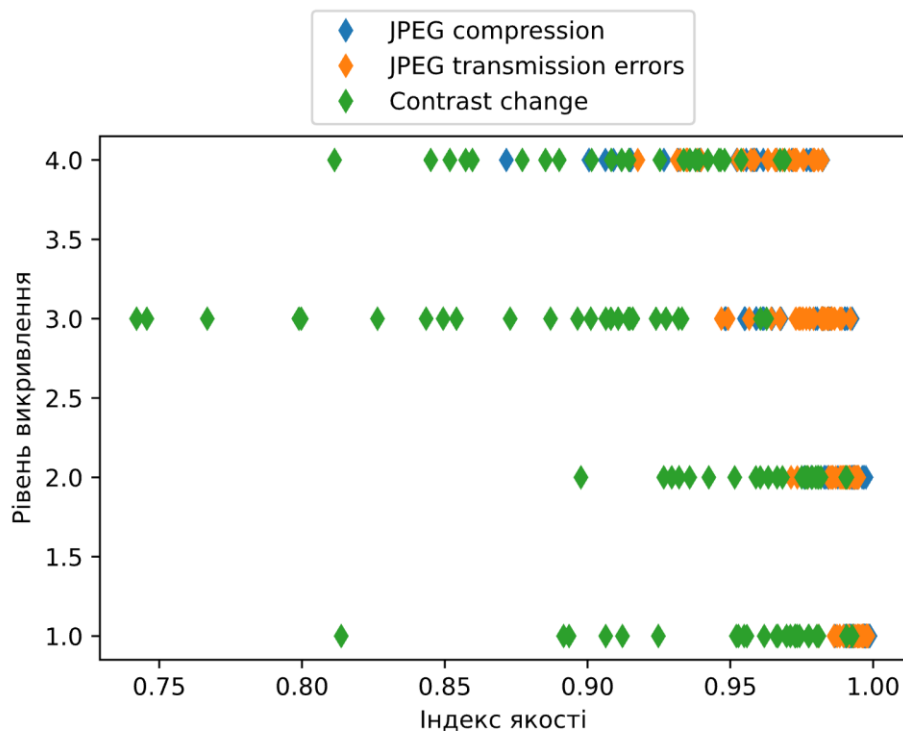


Рисунок 7.6

Результат роботи УІЯЗ, значення лівіше відображають гіршу якість

### 7.3.1 Висновок

Виходячи з отриманих графіків можемо дійти висновку, що у СКП та ПВСШ присутній дуже великий розкид значень якості в залежності від зображення до якого зображення ці метрики були застосовані.

СКП має більшу чутливість до великої кількості високочастотного шуму (рис. 7.2), проте всі інші типи викривлень призводять до повільного і відносно лінійного спадання якості при додаванні більшого числа викривлень.

ПВСШ чіткіше визначає додавання викривлень до зображення ані ж СКП. На графіку ПВСШ чітко відрізняються умовні лінії спадання якості при зростанні викривлень для різних їх типів.

УІЯЗ має великий розкид значень якості в залежності від ступеня викривлень. На (рис. 7.4) видно майже відсутню реакцію на Гаусівське розмиття, проте дуже круті зміни у визначенні якості при додавання шумів.

#### **7.4 Оцінка коефіцієнту кореляції між обрахованою оцінкою якості та середньої якості зображення**

Для визначення відповідності даних метрик реальному сприйнятті людиною було обраховано коефіцієнт кореляції Спірмана для обраних типів викривлень (табл. 1).

	СКП	ПВСШ	УІЯЗ
Коефіцієнт кореляції Спірмана	0.525	0.525	0.600

Таблиця 1

##### **7.4.1 Висновок**

Виходячи з результатів, отриманих після обчислення коефіцієнту кореляції, можемо дійти висновку, що УІЯЗ має перевагу в порівнянні з СКП та ПВСШ у точності визначення якості зображення.

#### **7.5 Порівняння швидкодії**

Для наглядного порівняння швидкості роботи трьох метрик було побудовано кумулятивний графік часу на якому можна відслідкувати необхідний для обробки певної кількості зображення час.

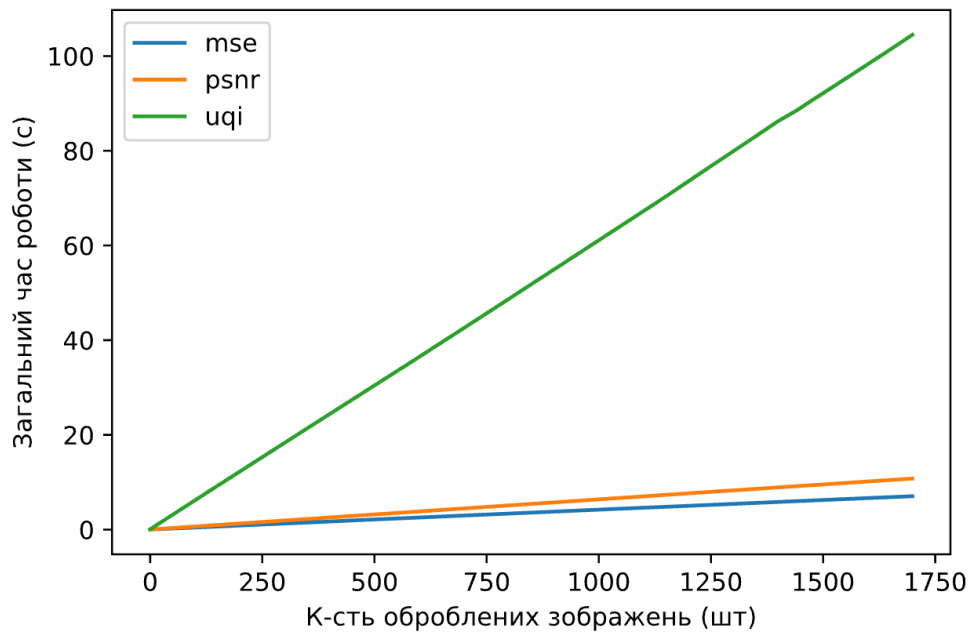


Рисунок 7.7

### 7.5.1 Висновок

Виходячи з графіку можна сказати, що УІЯЗ має достатньо велике відставання від СКП та ПВСШ. Це можна пояснити складністю обчислення першого. Для обчислення УІЯЗ враховує зміну відразу трьох параметрів: втрату кореляції, викривлення по контрасту та по яскравості. Це допомагає УІЯЗ краще визначати зміни, наприклад, контрасту (рис. 7.6) та накладання на нього шумів (рис 7.4). Також видно, що алгоритм з використанням СКП працює трохи швидше за ПВСШ, це пояснюється обчисленням СКП та додатковим обчисленням логарифму в алгоритмі ПВСШ.

### 7.6 Висновок

В проведених експериментах результати роботи середньоквадратичної похибки виявились поганими в контексті розпізнавання викривлень. Значення

СКП дуже повільно змінювались, хоча на тестових зображеннях з'явилися викривлення, які кардинально змінювали сприйняття та якість зображення в гіршу сторону. На контрасті, універсальний індекс якості зображення справився з поставленою задачею успішно. Результат роботи даного алгоритму видавав цілісну кореляцію із суб'єктивними показниками опитаних оцінювачів, хоч і гірше розпізнавав присутність Гаусівського розмиття без будь якого використання HSV корекцій. В контексті швидкодії УІЯЗ сильно програє СКП та ПВСШ, проте в задачах, де вимагається висока точність визначення якості він матиме більш вигідну позицію за рахунок хорошої кореляції із середньою оцінкою людей.

Немає сумніву, що метрики які використовують HSV корекцію будуть набагато точнішими проте без хорошої математичної моделі її використання може видати навіть гірший результат тому, в контексті швидкої розробки, цілком і повністю можна використовувати універсальний індекс якості.

## ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра була реалізація згаданих алгоритмів визначення якості зображення, їх тестування та порівняння якості і швидкості роботи. Для виконання даної задачі було обрано два основних і один покращений алгоритм визначення якості зображення, для тестування було використано класифікований набір даних TID2008.

У процесі виконання було виконано наступні завдання:

- Поглиблення знань мови Python;
- Опанування роботи з бібліотеками мови Python;
- Вивчення та дослідження базових алгоритмів якості зображення;
- Вивчення основних атрибутів якості зображення;
- Реалізація згаданих алгоритмів на мові Python;
- Порівняння якості роботи алгоритмів із оцінками в тестових даних;
- Порівняння швидкості роботи алгоритмів;
- Отримання висновків;

Створена реалізація алгоритмів визначення якості зображень дозволить у майбутньому будь-якому розробнику отримувати оцінку зображення для подальшої обробки у своїй системі.

## ДОДАТКИ



Рисунок 7.8

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- K.-H. Thung, A Survey of Image Quality Measures, Kuala Lumpur: IEEE  
1] Xplore, 2010.
- M. I. A. C. B. F. I. H. R. S. S. M. I. a. E. P. S. S. M. I. Zhou Wang, Image  
2] Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, IEEE, 2004.  
"MSE, PSNR," [Online]. Available:  
3] <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>.
- A. B. Zhou Wang, A universal image quality index, IEEE, 2002.  
4]  
"Python," [Online]. Available: <https://www.python.org/>.
- 5]  
N. N. Ponomarenko, "Tampere image database 2008, version 1.0.," 2008.  
6] [Online]. Available: <http://www.ponomarenko.info/tid2008.htm>.
- M. C. V. L. K. E. J. A. a. F. B. N. Ponomarenko, Color image database for  
7] evaluation of image quality metrics, 2008.