

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра вищої математики та системного аналізу

**Пояснювальна записка
до дипломної роботи
магістра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Аналіз впливу обробки зображень графічними редакторами на
результат стиску»

«ХАІ.405.463м.124.1404044.190»

Виконала: студентка курсу групи 463м
спеціальності 124 «Системний аналіз»
(шифр та назва спеціальності)

Скіцка М.В.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: Щербакова Ю.А.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Колодяжний В.М.

(прізвище й ініціали)

Харків – 2019

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 78 с., 7 рис., 21 табл., 27 джерел.

Об'єкт дослідження: інформаційна система стиснення зображення

Предмет: алгоритми стиснення зображення

Мета роботи: аналіз впливу обробки зображень графічними редакторами на результат стиску алгоритмом JPEG.

Основні завдання дослідження: аналіз впливу обробки фотографій у графічних редакторах Adobe Photoshop і GIMP на якість та коефіцієнт стиснення зображень. Проаналізувати можливість отримання максимально зменшеного розміру зображення. Порівняти метрики втрат якості при стисканні.

Методи дослідження:

- аналіз існуючої інформації
- класифікаційне дослідження об'єкта.
- методи системного аналізу.
- методи структурного аналізу.

Доводиться системність об'єкта дослідження, проводиться структурний, функціональний, інформаційне та класифікаційне опис. Визначаються основні вхідні та вихідні параметри. Проаналізовано застосування деяких методів обробки зображень та вплив цих методів на якість і розмір стиснення.

АЛГОРИТМИ КОМПРЕСІЇ, КОМПРЕСІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, МЕТОДИ СТИСНЕННЯ, НАСИЧЕНІСТЬ, ОБРОБКА ФОТОГРАФІЙ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, СТИСК ДАНИХ, ФІЛЬТРИ, ЯСКРАВІСТЬ, GIMP, JPEG, PHOTOSHOP.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к дипломной работе: 78 с., 7 рис., 21 табл., 27 источников.

Объект исследования: информационная система сжатия изображения

Предмет: алгоритмы сжатия изображения

Цель работы: анализ влияния обработки изображений графическими редакторами на результат сжатия алгоритмом JPEG.

Основные задачи исследования: анализ влияния обработки фотографий в графических редакторах AdobePhotoshop и GIMP на качество и коэффициент сжатия изображений. Проанализировать возможность получения максимально уменьшенного размера изображения. Сравнить метрики потерь качества при сжатии.

Методы исследования:

- анализ существующей информации
- классификационное исследование объекта.
- методы системного анализа.
- методы структурного анализа.

Приводится системность объекта исследования, проводится структурное, функциональное, информационное и классификационное описание. Определяются основные входные и выходные параметры. Проанализировано применение некоторых методов обработки изображений и влияние этих методов на качество и размер сжатия.

АЛГОРИТМЫ КОМПРЕССИИ, КОМПРЕССИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, МЕТОДЫ СЖАТИЯ, НАСЫЩЕННОСТЬ, ОБРАБОТКА ФОТОГРАФИЙ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, СЖАТИЕ ДАННЫХ, ФИЛЬТРЫ, ЯРКОСТЬ, GIMP, JPEG, PHOTOSHOP.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma thesis: 78 pp., 7 figs., 21 tables., 27 sources.

Object of study: image compression information system

Subject Title: Image Compression Algorithms

Purpose: To analyze the impact of image editing on image editing by JPEG compression.

The main objectives of the study: to analyze the impact of photo processing in Adobe Photoshop and GIMP image editors on image quality and compression ratio. Analyze the ability to get the smallest image size possible. Compare compression loss metrics.

Research methods:

- analysis of existing information
- classification research of the object.
- methods of system analysis.
- methods of structural analysis.

Systematicity of the object of study is proved, structural, functional, informational and classification description is made. The basic input and output parameters are determined. The application of some image processing techniques and the impact of these methods on the quality and size of compression are analyzed.

COMPRESSION ALGORITHMS, IMAGE COMPRESSION, COMPRESSION METHODS, SATURITY, PHOTOGRAPHY PROCESSING, SYSTEM ANALYSIS, DATA COMPRESSION, FILTERS, GIMP, JPEG, PHOTOSHOP.

Зміст

ВСТУП	9
1 СТАН ПИТАННЯ стиснення ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ПЕРЕДАЧІ І ЗБЕРЕЖЕННІ ДАНИХ.....	11
1.1 Основна інформація та визначення.....	11
1.2 Огляд інформаційних джерел.....	13
1.3 Проблеми стиснення інформації.....	19
1.4 Цілі і завдання дослідження	20
Висновки розділу 1	20
2 ОПИС ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СТИСКАННЯ ДАНИХ З ТОЧКИ ЗОРУ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	22
2.1 Структурний аналіз.....	22
2.1.1 Процес стиснення	23
2.2 Функціональний опис системи.....	26
2.3 Інформаційний опис системи	27
2.4 Класифікаційний опис системи	28
Висновок розділу 2.....	29
3 Особливості стиску та обробки зображень	30
3.1 Математичні основи методів обробки	30
3.2 Стиснення та метрики перевірки його ефективності	36
3.2.1 Метрики перевірки ефективності стиску.....	36
3.2.2 Алгоритм JPEG	38
3.3 Вхідні та вихідні параметри.....	43
Висновки розділу 3	43
4 Вплив обробки зображень на стиск	44

4.1Графічні редактори	44
4.2Обробка в AdobePhotoshop.....	47
4.3Обробка в GIMP	51
5 Економічна частина	57
5.1Опис продукту	57
5.2Розробка переліку робіт зі створення інформаційної системи	57
5.3Розрахунок витрат на розробку продукту	59
5.4Альтернативний процес розробки програмного продукту	66
5.5Розробка переліку робіт зі створення інформаційної системи	66
5.6Розрахунок витрат на розробку продукту	68
Висновки	74
Перелік джерел посилання.....	76

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що при збереженні і передачі будь-якої інформації завжди з'являється питання про те, чи є можливість збільшити ефективність. Можливо збільшити швидкість передачі даних, чи зменшити обсяг пам'яті зайнятий на жорсткому диску і т.д.

Стиснення зображень поділяють на стиск з втратами якості і стиснення без втрат. Стиснення без втрат часто краще для штучно побудованих зображень, таких як графіки, іконки програм, або для спеціальних випадків, наприклад, якщо зображення призначені для подальшої обробки алгоритмами розпізнавання зображень. Алгоритми стиснення з втратами при збільшенні ступеня стиснення, як правило, породжують добре помітні людському оку зміни.

Об'єкт дослідження: інформаційна система стиснення зображення

Предмет: алгоритми стиснення зображення

Мета роботи: аналіз впливу обробки зображень графічними редакторами на результат стиску алгоритмом JPEG.

Основні завдання дослідження: аналіз впливу обробки фотографій у графічних редакторах AdobePhotoshop і GIMP на якість та коефіцієнт стиснення зображень. Проаналізувати можливість отримання максимально зменшеного розміру зображення. Порівняти метрики втрат якості при стисканні.

В якості методів дослідження використовувалися:

- аналіз існуючої інформації
- класифікаційне дослідження об'єкта.
- методи системного аналізу.
- методи структурного аналізу.

Питання компресії даних досліджували: Ватолин Д.С, МіаноДж., Селмон Д., Клименко Л.А., Козелков О.А. і багато інших.

Перший розділ роботи освячує основні поняття, а також огляд деяких інформаційних джерел. Після аналізу існуючої інформації була отримана проблематика, на основі якої було складено цілі завдання, обрано об'єкт, предмет та завдання цього дослідження.

У другому розділі була класифікована та описана інформаційна система стиснення даних. Було доведено, що дана система є об'єктом з точки зору системного аналізу, на прикладі роботи алгоритму з втратами JPEG. Також було проведено функціональний, структурний, класифікаційний та інформаційний опис системи.

У третьому розділі приведено опис деяких математичних методів, які є основою обробки зображень. Також приведено опис метрик втрат якості при стисканні та їх порівняння. Приведено детальний опис алгоритму JPEG. Було визначено вихідні та вхідні параметри.

У четвертому розділі було вказано опис, плюси та мінуси двох графічних редакторів. Також приведено результуючі таблиці впливу обробки на стиск для кожного редактору та кожної з 4 груп зображень.

У п'ятому розділі проводяться розрахунки собівартості та ціни роботи двома варіантами та обирається кращий.

У висновку було описано результати впливу обробки зображень на стиснення, а також перераховано всі результати виконаних задач.

1 СТАН ПИТАННЯ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ПЕРЕДАЧІ І ЗБЕРЕЖЕННІ ДАНИХ

1.1 Основна інформація та визначення

Термін стиснення даних означає зменшення обсягу даних, що використовується для подання певної кількості інформації. При цьому між поняттями дані і інформація існують чіткі відмінності. Завдяки даному алгоритму ми маємо змогу позбутися від характерної особливості даних - надмірності. Всім відомо, що надмірність даних збільшує вартість їх зберігання та відчутно зменшує швидкість передачі по комп'ютерних мережах. Використовуючи компресію можна видалити з даних ті біти, які не потрібні, а залишити лише ті які необхідні для представлення інформації.[5]

Основні випадки використання алгоритмів стиснення:

1. у програмах-архіваторах (WinRAR, WinZip).
2. при передачі даних по мережах зв'язку.
3. у програмах резервного копіювання (AcronisTrueImage).
4. у форматах файлів з мультимедіа даними (JPEG, GIF, MP3, AVI).
5. у системах безпеки та відеоспостереження.
6. у системах телеконференцій.

Вхідним потоком будь якого алгоритму стиску є інформація, мінімальною одиницею якої є біт, а максимальною - кілька біт, байт або кілька байт відповідно. Метою процесу стиснення, як правило, є отримання більш компактного вихідного потоку інформаційних одиниць з деякого спочатку некомпактного вхідного потоку завдяки деякому їх перетворення. Основними технічними характеристиками процесів стиснення і результатів їх роботи є:

- ступінь стиснення;

- швидкість стиснення;
- якість стиснення. [15]

Алгоритми стиснення поділяються на деякі види, а саме: ті, які спираються на надмірність конкретного типу даних та універсальні, які можуть працювати з різною інформацією. Одним із видів даних, з якими працюють алгоритми компресії, є зображення. За останні 20 років у комп'ютерній графіці почався стрімкий розвиток області, яка займається алгоритмами стиснення зображень. Данна область з'явилась завдяки тому, що зображення - це той тип даних, який має деякі особливості, а саме:

- Займають багато місця в пам'яті
- Алгоритми їх обробки орієнтовані на особливості зору людини
- Алгоритми повинні враховувати структуру зображення

За останній час було розроблено безліч алгоритмів, які в свою чергу можна розділити на алгоритми стиснення з втратами і без втрат.

Актуальність: при збереженні і передачі будь-якої інформації завжди з'являється питання про те, чи є можливість збільшити ефективність. Можливо збільшити швидкість передачі даних, чи зменшити обсяг пам'яті зайнятий на жорсткому диску і т.д. При стисненні зображень зменшується час відправки і отримання, так як і при перегляді і завантаженні зображень та економиться пам'ять.

Але всі ми знаємо, що час не стоїть на місці і все змінюється, тому зараз вже доступні носії великого обсягу даних та високошвидкісні канали передачі даних. Та важко не помітити, що обсяги інформації також зростають. Якщо сьогодні фільми в HD-якості можуть займати десятки гігабайт, то тільки роки тому ми дивилися 700-мегабайтні фільми.

Все ж стискати всю інформацію можливо й не виникає потреби, але є ситуації в яких це край необхідно:

- пересилання документів по електронній пошті (особливо великих обсягів документів з використанням мобільних пристроїв)
- при публікації документів на сайтах, потреба в економії трафіку
- економія дискового простору в тих випадках, коли заміна або додавання коштів зберігання не можлива. Наприклад, в тих випадках, коли нема бюджету під капітальні витрати, а дискового простору не вистачає.

1.2 Огляд інформаційних джерел

В джерелі [8] можна ознайомитись з використанням компресії в різних форматах (таблиця 1.1). Також автори описали майже всі найвідоміші алгоритми стиску та форматів збереження зображень.

Таблиця 1.1 – Формати даних з використовуваними в них методами стиснення

	BMP	CIF	PNG	JPEG
RLE	•			•
LW		•	•	
Huffman			•	•
DCT				•

Підходи до стиснення інформації поділяються на два кардинально різних: стиснення з втратами і без втрат. Стиснення без втрат завдяки особливостям розпакування (зворотного перетворення) передбачає 100% відтворення вихідних даних після роботи алгоритму. А стиснення з втратами в свою чергу відтворює «дуже схожі» данні до вихідних, але й ефективність зменшення даних після стиску у цих алгоритмів вища порівняно з стисненням без

втрат. Основне застосування методів з втратами це стиск зображень, звукових та відео-файлів. Ці групи даних мають особливість в тому, що людина майже не помічає втрат при стисненні музики чи фотографії. Алгоритми стиснення з втратами як результат можна застосовувати лише для даних описують чуттєве сприйняття реального світу. Ця група алгоритмів не зовсім підходить для стиснення тексту, а також для робіт з базами даних, які в свою чергу зберігають в собі текстову інформацію.

Джерело [9] посвячене детальному опису алгоритмів стиску, а також в ньому представлена одна із можливих класифікацій всіх методів стиску. Алгоритми стиснення зображень поділяються на дві великі групи: без втрат і з втратами. Перші в ході передачі зберігають інформацію про зображення повністю, а другі - тільки частково. Перша група методів стиснення забезпечує відновлення вихідного зображення без втрат і спотворень. До зображень, призначеним для зберігання з метою подальшої обробки, слід застосовувати методи першого типу. Однак, якщо зображення призначене для візуального сприйняття, це не завжди необхідно. У ряді випадків вихідний сигнал вже містить такі спотворення і шуми, що невеликі втрати інформації при кодуванні (на користь високого ступеня стиснення) не зіпсують якості зображення в цілому.

Одна з серйозних проблем комп'ютерної графіки полягає в тому, що до цих пір не знайдений адекватний і однозначний критерій оцінки втрат якості зображення. Для зображень, які спостерігаються візуально, основним є не відрізнитись оком вихідного і скомпресованого зображення.

При передачі стислих даних неминуче виникають втрати. Однак в деяких окремих випадках такий стан речей є неприпустимим. Одним із прикладів може служити архівація медичних і ділових документів, стиснення з втратами яких найчастіше заборонено законом. Іншим прикладом є супутникові зображення,

спосіб отримання яких занадто дорогий, для того, щоб виробляти стиснення з втратами. Таким чином, стиснення зображення без втрат завжди буде досить затребуване. Алгоритми такого стиснення зазвичай складаються з двох незалежних один від одного операцій: розробка альтернативного представлення зображення, в якому зменшена міжелементна надмірність, і кодування отриманих даних для усунення кодової надмірності [1]. До найбільш поширених підходів стиснення без втрат відносяться: нерівномірне кодування (кодування Хаффмана, кодування за допомогою майже оптимальних нерівномірних кодів, арифметичне кодування), LZW кодування, кодування бітових площин, кодування без втрат з прогнозом.

Стиснення з втратами засноване на виборі балансу між точністю відновлення зображення і ступенем його стисливості. Якщо можна допустити появу деякого спотворення в кінцевому результаті кодування, то можливе значне збільшення коефіцієнта стиснення. Як показано вище, принципова різниця між структурними схемами двох підходів полягає в наявності або відсутності блоку квантування. Розрізняють такі види стиснення з втратами: кодування з передбаченнями, трансформаційне кодування, вейвлет-кодування [26].

У джерелі [24] можна ознайомитись з відомостями стосовно надмірності даних. Стиснення зображень орієнтоване на скорочення обсягу даних представляють певну кількість інформації. Найчастіше ця проблема вирішується шляхом видалення надлишкової інформації.

Нехай n_1 і n_2 позначають число елементів (носіїв інформації) в двох наборах даних, що представляють одну і ту ж інформацію. Тоді відносна надмірність даних R_D може бути визначена як

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R}$$

, де C_R називається коефіцієнтом стиску та обчислюється, як

$$C_R = \frac{n_1}{n_2}$$

Розрізняють три види надмірності даних в задачі цифрового стиснення зображень: кодова, між елементна і візуальна надмірність. Стиснення даних досягається в тому випадку, коли усувається або скорочується надмірність одного або декількох з вищевказаних видів. Розглянемо кожен з видів окремо [25].

Нехай дискретна випадкова змінна r_k з'являється з ймовірністю $P_r(r_k)$, L - загальне число рівнів яскравості, n_k - число пікселів, що мають значення яскравості k , а n - загальне число елементів в зображенні. Якщо число бітів, використовуваних для подання кожного із значень r_k , дорівнює $l(r_k)$, то середнє число бітів, необхідних для представлення значення одного елемента, так само:

$$L_{cp} = \sum_{k=0}^{L-1} l(r_k) P_r(r_k)$$

т. е. середня довжина всіх кодових слів, присвоєних різним значенням яскравості, визначається як сума добутків числа бітів, використовуваних для подання кожного з рівнів яскравості на ймовірність появи цього рівня яскравості.

Якщо код значення яскравості утворюється не мінімізацією попереднього рівняння, то кажуть, що зображення має кодову надмірність. Незавжно побачити, що присвоєння кодових слів з меншим числом бітів більш імовірним значенням яскравості, і навпаки, більш довгих кодових слів менш імовірним значенням т. Е. Застосування нерівномірного кодування, дозволяє досягти стиснення даних.

З іншого боку, кодування, що використовується для представлення значень яскравості, не може змінити кореляції між пікселями, яка є наслідком

структурних або геометричних взаємозв'язків між об'єктами на зображенні. Коефіцієнти автокореляції γ , обчислені уздовж одного рядка кожного зображення можуть бути отримані за допомогою рівняння:

$$\gamma(\Delta n) = \frac{A(\Delta n)}{A(0)}$$

, де

$$A(\Delta n) = \frac{1}{N - \Delta n} \sum_{y=0}^{N-1-\Delta n} f(x, y) f(x, y + \Delta n)$$

Оскільки значення кожного елемента зображення може бути передбачене за значеннями його сусідніх, то інформація, що міститься в окремому елементі, виявляється досить малою. Велика частина міститься інформації є надлишковою. Така надмірність називається міжелементних. Для її зменшення двовимірний масив пікселів повинен бути перетворений в деякий більш раціональний формат. Іншими словами, потрібно знайти відображення даної множини в більш спрощене, досягнуте, припустимо, різницею між сусідніми пікселями.

Відомо, що сприймається оком яскравість залежить не тільки від кількості світла, що виходить з даної області. При звичайному візуальному сприйнятті частина інформації виявляється менш важливою, ніж інша. Таку інформацію називають візуально надлишковою. Вона може бути видалена без помітного погіршення візуального якості зображення [25,26,27].

В джерелі[23] освячується інформація щодо методів обробки та стику, а також використанні особливостей зору людини в цих процесах. Поняття кольору базується на сприйнятті очима людини електромагнітних хвиль в певному діапазоні частот. Сприймається нами денне світло має довжини хвиль λ від 400 нм (фіолетовий) до 700 нм (червоний). Описом світлового потоку

може служити його спектральна функція $I(\lambda)$. Світло називається монохроматичним, якщо його спектр має тільки одну певну довжину хвилі.

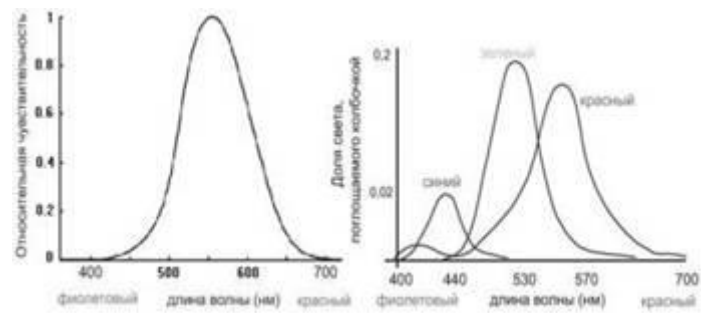


Рисунок. 1.1

На сітківці ока знаходяться два типи рецепторів: палички і колбочки. Спектральна чутливість паличок (рис. 1.1) прямо пропорційна яскравості падаючого світла. Колбочки поділяються на три види, кожен з яких має певну чутливість в обмежених діапазонах з максимумами до червоного, зеленого і синього кольорів, і різко втрачають свою чутливість в темряві. Сприйнятливості очі до синього кольору значно нижче, ніж до двох інших. Важливою властивістю сприйняття світла людиною є лінійність при додаванні квітів з різними довжинами хвиль.

Колірна модель RGB (Red, Green, Blue - червоний, зелений, блакитний) в машинній графіці в даний час є найпоширенішою. У цій моделі спектральна функція представляється як сума кривих чутливості для кожного типу колб з невід'ємними ваговими коефіцієнтами (з нормування від 0 до 1), які так і позначаються - R, G і B. Модель характеризується властивістю адитивності для отримання нових кольорів. Наприклад, кодування спектральних функцій:

- чорного кольору: $f_{black} = 0$, $(R, G, B) = (0,0,0)$;
- фіолетового кольору $f_{violet} = f_{red} + f_{blue}$, $(R, G, B) = (1,0,1)$;
- білого кольору $f_{white} = f_{red} + f_{green} + f_{blue}$, $(R, G, B) = (1,1,1)$.

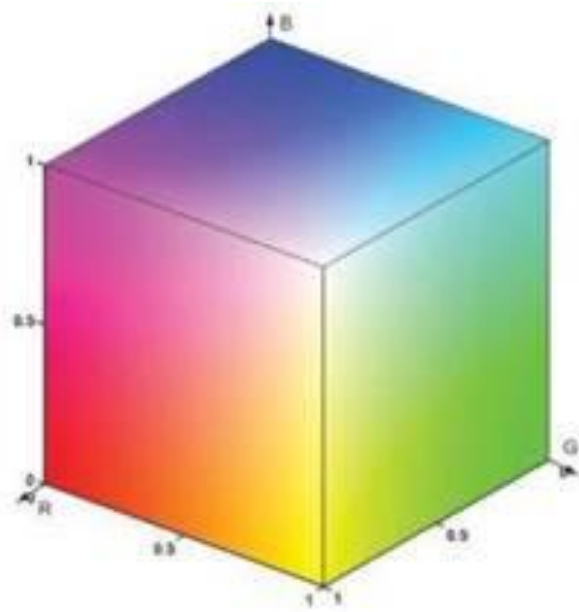


Рисунок. 1.2

Тривимірний простір кольорів моделі RGB наведено на рис. 1.2. В силу особливостей сприйняття світла рецепторами не всі кольори, видимі людиною, представимо в цій моделі. Однак частка відтворених квітів значно більше, ніж частка НЕ представимо в цій моделі.

1.3 Проблеми стиснення інформації

В результаті аналізу літератури, присвяченої стиску зображень, було виявлено кілька проблем.

- Нема критерію оцінки втрат якості зображення [1].
- Не достатнє зменшення розміру зображення [7].
- Нема остаточної класифікації існуючих методів стиснення [18].
- Відсутня однозначне визначення ефективності стиснення даних [6].

Враховуючи отримані проблеми з даної теми було поставлено цілі, що представлено нижче.

- Визначити ефективність стиснення.
- Проаналізувати можливість отримання максимально зменшеного розміру зображення.
- Знайти критерій оцінки втрат якості.

1.4 Цілі і завдання дослідження

Враховуючи основні проблеми представлені в джерелах було сформульовано мету, завдання та обрано об'єкт дослідження.

Об'єкт дослідження: інформаційна система стиснення зображення

Предмет: алгоритми стиснення зображення

Мета роботи: аналіз впливу обробки зображень графічними редакторами на результат стиску алгоритмом JPEG.

Основні завдання дослідження: аналіз впливу обробки фотографій у графічних редакторах AdobePhotoshop і GIMP на якість та коефіцієнт стиснення зображень. Проаналізувати можливість отримання максимально зменшеного розміру зображення. Порівняти метрики втрат якості при стисканні.

Методи дослідження:

- аналіз існуючої інформації
- класифікаційне дослідження об'єкта.
- методи системного аналізу.
- методи структурного аналізу.

Висновки розділу 1

Проаналізовано існуючу інформацію стосовно стану питання пов'язаного з стисненням даних. Для повного розкриття теми було обрано лише один тип

даних, тип який має можливо найбільшу кількість надмірності – зображення. Враховуючи особливості цього типу даних саме з ними можна порівняти напевне найбільшу кількість алгоритмів стиску, як з втратами так і без втрат. Основуючись на інформаційні джерела була приведена актуальність даної теми, а також була описана проблематика. Завдяки знайденим проблемам були визначені цілі дослідження, описано мету та основні завдання, а також перераховано методики, які будуть використовуватись для рішення задач.

2 ОПИС ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СТИСКАННЯ ДАНИХ З ТОЧКИ ЗОРУ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Структурний аналіз

Проаналізувавши інформаційні джерела з компресії даних інформації було виявлено, що процес стиснення кожній групі методів відбувається по-різному.

Всі методи стиснення даних засновані на простому логічному принципі. Якщо уявити, що елементи, які найбільш часто зустрічаються, закодовані кодами меншої довжини, а рідше зустрічаються - довгими, то при зберіганні всієї інформації потребується менше місця, ніж якби всі елементи мали коди однакової довжини [21].

Точний взаємозв'язок між частотами появи елементів, і оптимальними довжинами кодів описана в теоремі, яка визначає межу максимального стиснення без втрат і ентропію Шеннона, в так званій теоремі Шеннона про джерела шифрування (Shannon's source coding theorem) [22].

Розглянемо загальну класифікацію методів стиснення в системі стиснення даних (рисунок 2.1).

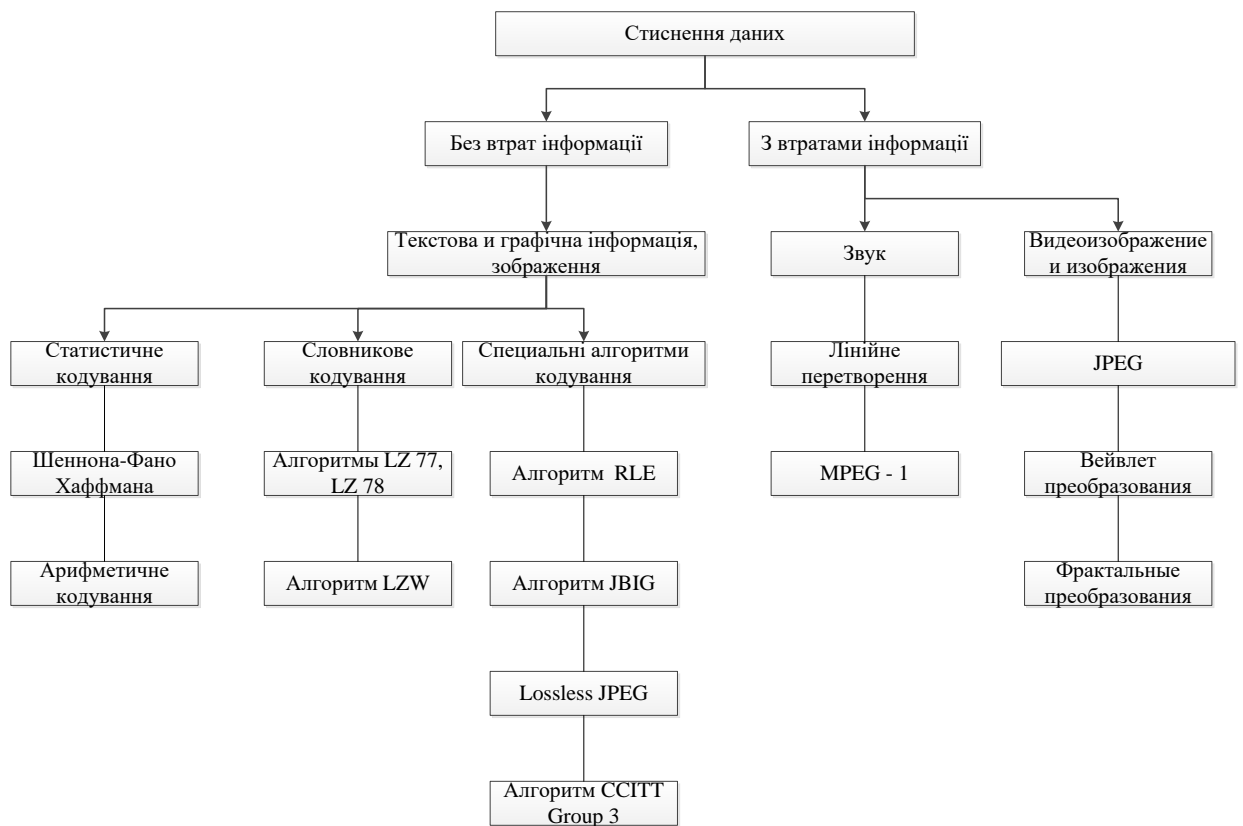


Рисунок 2.1 – Класифікація алгоритмів стиску даних.

2.1.1 Процес стиснення

Система стиснення будь-якого зображення складається з двох структурних блоків: кодер і декодер. Початкове зображення надходить на вхід кодера, який перетворює його в набір символів. Після передачі по каналу дані надходять в декодер, де створюється відтворене зображення. В результаті може вийти як точна копія вихідного зображення (кодування без втрат), так і дещо змінена (кодування з втратами).

На рисунку 2.2 представлена загальна схема процесу стиснення зображення [3].



Рисунок 2.2 – Основні етапи стиснення цифрових зображень

Кодер джерела скорочує можливі види надмірності на вхідному зображенні. Завдяки окремим додаткам вибирається той чи інший спосіб шифрування, який є оптимальним в кожному конкретному випадку. Процедура кодування представляється у вигляді послідовності трьох стадій: перетворювач, квантування і кодер символів. На етапі перетворювача вхідні дані (зображення) представляється в форматі, призначеному для скорочення міжелементних надмірностей. Другий крок, або блок квантування, дозволяє скоротити візуальну надмірність за рахунок зменшення точності виходу перетворювача. На третій і останній стадії кодер символів створює рівномірний або нерівномірний код. Таким чином, після проходження трьох етапів кодування зображення позбавляється від всіх видів надмірності. Однак, слід пам'ятати, що етап квантування є незворотнім, що в разі стиснення без втрат вимагає пропуску цього кроку [24,26].

Схема декодера джерела включає лише два блоки: декодер символів і зворотний перетворювач. Тут здійснюються операції, зворотні тим операціям, які виконувалися в кодері джерела, причому в зворотному порядку, виключаючи лише етап квантування, з тієї ж причини його незворотності.

У разі, коли канал передачі має власні шуми і перешкоди, важливу роль в процесі кодування грають кодер і декодер каналу. Зменшення впливу шуму в каналі передачі досягається шляхом нарощування до вихідних закодованим даними надлишкової інформації. До слова додаються перевіірочні біти, здатні виправити і виявити поодинокі помилки. Цей прийом дозволяє домогтися

більшої стійкості переданих даним до перешкод. Декодер каналу, аналогічно декодера джерела виконує зворотні перетворення.

Щоб визначити чи є об'єкт системою, необхідно розглянути властивості, якими вона володіє .

Властивості системи:

1. Емерджентність

Основне призначення системи - стиснення зображення. Жоден з її елементів окремо не може виконати цього завдання якісно. Наприклад, виконати стиснення JPEG без кодування Хаффмана чи RLE неможливо.

2. Цілісність

Зміна в одному елементі змінить всю систему. Чи не коректна робота на одному з кроків може привести до неякісного перетворення даних.

3. Адитивність

При поліпшенні окремих алгоритмів, загальна ефективність системи збільшується за рахунок підсумовування поліпшення процесів кожного кроку.

4. Ізоморфізм і ізофункціоналізм

Кожен алгоритм має вигляд розвиненого елемента системи, отже, вся структура буде дотримуватися однієї схеми функціонування.

5. Прогресуюча систематизація

Характеризується тим, що всі елементи залежать один від одного, тому що отримати оптимальний результат можна отримати лише при об'єднанні всіх елементів.

6. Синергізм

Система не володіє цією властивістю.

Тип елементного складу: Гетерогенний

Тип елементів: Інформаційний

Типи зв'язків: Інформаційні

Тип структури: Послідовна

2.2 Функціональний опис системи

Таблиця 2.1 – Функції елементів системи

Код	Елемент	Функції
1	Вхідне зображення	Вхідні дані
2	Попередня обробка	Перехід до іншого кольорового простору, розбиття на блоки та інше.
3	Кодування	Первинне стиснення зображення, можливе з втратами
4	Квантування	Округлення несуттєвих коефіцієнтів.
5	Вторинне стиснення	Стиснення алгоритмами без втрат
6	Стиснене зображення	Закодоване зображення
7	Декодування	Декомпресія закодованого зображення
8	Декодоване зображення	Вихідні дані

Таблиця 2.2 – Параметри елементів системи

Код	Елемент	Параметри
1	Вхідне зображення	Клас зображення Розмір
2	Попередня обробка	Швидкість роботи
3	Кодування	Складність обчислень Точність обчислень

Продовження таблиці 2.2

4	Квантування	Коефіцієнт Швидкість роботи
5	Вторинне стиснення	Складність обчислень Швидкість роботи
6	Стиснене зображення	Розмір
7	Декодування	Швидкість роботи Симетричність
8	Декодоване зображення	Розмір Втрати

Таблиця 2.3 – Загальні характеристики системи

Функціональність	Ранг	Фактори	
		Системоруйнівні	Системоутворюючі
Однофункціональна	Обслуговування	Порушення порядку виконання методу.	Дотримання порядку виконання алгоритму.

2.3 Інформаційний опис системи

Зв'язки системи між елементами:

1. Вхідне зображення – Попередня обробка
2. Попередня обробка – Кодування
3. Кодування – Квантування
4. Квантування – Вторинне стиснення
5. Вторинне стиснення – Стиснене зображення
6. Стиснене зображення – Декодування

7. Декодування – Декодоване зображення

2.4 Класифікаційний опис системи

Наведемо основні способи для класифікації нашої системи. У таблиці 2.5 подано класифікацію об'єкта.

Таблиця 2.4 – Класифікація інформаційної системи стиснення зображення.

№ п/п	Ознака класифікації	Тип системи за ознакою	Визначення
1	по зв'язку системи з навколишнім середовищем	Відкрита	взаємодіє з навколишнім середовищем
2	за походженням	Штучна	створена людиною
3	за об'єктивністю існування	Реальна	складається з штучних об'єктів
4	по типу опису законів функціонування	параметризована система	закон функціонування відомий з точністю до параметрів
5	за способом управління системою	управління ззовні	блок управління знаходиться поза системою
6	по однорідності структури	Різнорідна	складається з невзаємозамінних елементів
7	по типу складності	Алгоритмічна	дана система сукупність алгоритмів

Продовження таблиці 2.4

8	по мірній	Одномірна	має 1 вхід і 1 вихід
9	по організованості	добре організована	визначені всі елементи, зв'язки і залежності між елементами і цілями
10	по лінійності	Нелінійна	не описується лінійним рівнянням
11	по неперервності	Дискретна	всі елементи, а також зв'язку між ними мають дискретний характер
12	по обумовленості дії	Детермінована	входи визначають поведінку системи

Висновок розділу 2

В даному розділі було проведено системний аналіз стиснення даних. Проведено класифікацію алгоритмів стиснення інформації. Також було перераховано та описано основні етапи процесу стиску. Доведено що об'єкт дослідження є системою. Проведено класифікаційний, функціональний та інформаційний опис системи. На основі результатів було створено інформаційну систему стиску зображень.

3 ОСОБЛИВОСТІ СТИСКУ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

На сьогоднішній день зросли вимоги до швидкості завантаження інтернет сторінок, фотографій у соціальних мережах та інше. Рішенням цієї проблеми може бути збільшення швидкості інтернету або зменшення розміру зображень. Основним критерієм до стиснення таких фотографії є втрати якості, які повинні бути мінімальними. Тому метою роботи є покращення фотографії за допомогою фото-корекції (або фото-редагування) методом комплексної обробки та аналіз впливу змін якості зображення на стиснення останнього алгоритмом JPEG. Для перевірки ефективності стиску використовують безліч метрик. В роботі було розглянено лише деякі з них.

3.1 Математичні основи методів обробки

Під фільтрацією зображень розуміють операцію, що має своїм результатом зображення того ж розміру, отримане з початкового за деякими правилами. Зазвичай інтенсивність (колір) кожного пікселя результуючого зображення обумовлений інтенсивностями (кольорів) пікселів, розташованих в деякій його околиці в оригінальному документі.

Правила фільтрації можуть бути найрізноманітнішими. Фільтрація зображень є однією з найбільш фундаментальних операцій комп'ютерного зору, розпізнавання образів і обробки зображень. З тієї чи іншої фільтрації вихідних зображень починається робота переважної більшості методів обробки зображень.

Лінійні фільтри мають дуже простий математичне опис. Будемо вважати, що задано вихідне півтонування A , і позначимо інтенсивності його пікселів $A(x, y)$. Лінійний фільтр визначається вещественнозначної функцією

h (ядром фільтра), заданої на растрі. Сама фільтрація проводиться за допомогою операції дискретної згортки (зваженого підсумовування).

Результатом служить зображення B . Зазвичай ядро фільтру відмінно від нуля тільки в деякій околиці N точки $(0, 0)$. За межами цієї околиці $h(i, j)$ дорівнює нулю, або дуже близько до нього і їм можна знехтувати. Підсумовування проводиться по $(i, j) \in N$, і значення кожного пікселя $B(x, y)$ визначається пікселями зображення A , які лежать в вікні N з центром в точці (x, y) (позначення - безліч $N(x, y)$). Ядро фільтра, заданий на прямокутній околиці N , може розглядатися як матриця m на n , де довжини сторін є непарними числами. При завданні ядра матрицею її слід центрувати. Якщо піксель (x, y) знаходиться в околиці країв зображення, то координати $A(x-i, y-j)$ для певних (i, j) можуть відповідати неіснуючим пікселям A за межами зображення. Дану проблему можна вирішити кількома способами.

- Чи не проводити фільтрацію для таких пікселів, обрізавши зображення B по краях, або застосувавши для їх значень вихідні значення зображення A .

- Не вмикати відсутній піксель в підсумовування, розподіливши його вага $h(i, j)$ рівномірно серед інших пікселів околиці $N(x, y)$.

- довизначити значення пікселів за межами зображення за допомогою екстраполяції.

- довизначити значення пікселів за межами зображення, за допомогою дзеркального продовження зображення.

Вибір способу проводиться з урахуванням конкретного фільтра і особливостей зображення.

Згладжуючі фільтри. Найпростіший прямокутний згладжуючий фільтр радіуса r задається за допомогою матриці розміру $(2r + 1) \times (2r + 1)$, всі значення якої дорівнюють $1 / (2r + 1)^2$, а сума значень дорівнює одиниці. Це двовимірний аналог низькочастотного одновимірного П-образного фільтру

змінного середнього. При фільтрації з таким ядром значення пікселя замінюється середнім значенням пікселів в квадраті зі стороною $2r + 1$ навколо нього. Приклад маски фільтра 3×3 :

$$M_1^{low} = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Контрастозбільшуючі фільтри. Якщо згладжуючі фільтри знижують локальну контрастність зображення, розмиваючи його, то контрастозбільшуючі фільтри виробляють зворотний ефект і, по суті, є фільтрами високих просторових частот. Ядро контрастозбільшуючого фільтра в точці $(0, 0)$ має значення, більше 1, при загальній сумі значень, що дорівнює 1. Наприклад, контрастозбільшуючими фільтрами є фільтри з ядром, що задається матрицями:

$$M_1^{contr} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, M_2^{contr} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Ефект підвищення контрасту досягається за рахунок того, що фільтр підкреслює різницю між інтенсивностями сусідніх пікселів, видаляючи ці інтенсивності один від одного. Цей ефект буде тим сильніше, чим більше значення центрального члена ядра. Характерним артефактом лінійної контрастоповишаючої фільтрації є помітні світлі і менш помітні темні ореоли навколо кордонів.

Різницеві фільтри - це лінійні фільтри, що задаються дискретними апроксимаціями диференціальних операторів (за методом кінцевих різниць). Дані фільтри відіграють найважливішу роль у багатьох додатках, наприклад, для завдань пошуку кордонів на зображенні.

Найпростішим диференціальним оператором є взяття похідної по x -координату d / dx , який визначений для безперервних функцій. Поширеними

варіантами аналогічних операторів для дискретних зображень є фільтри Прюит (Prewitt) і Собеля (Sobel):

$$M_1^{prewitt} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, M_1^{sobel} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Фільтри, що наближують оператор похідної по у-координаті d / dy , виходять шляхом транспонування матриць.

Найпростіший алгоритм обчислення норми градієнта по трьом суміжним точкам:

$$G(x, y) = \sqrt{(A_{x+1,y} - A_{x,y})^2 + (A_{x,y+1} - A_{x,y})^2}.$$

На відміну від згладжують і контрастозбільшуючих фільтрів, які не змінюють середню інтенсивність зображення, в результаті застосування різницевого операторів виходить, як правило, зображення із середнім значенням пікселя близьким до нуля. Вертикальним перепадів (кордонів) вихідного зображення відповідають пікселі з великими по модулю значеннями на результуючому зображенні. Тому різницеві фільтри називають також фільтрами виділення кордону об'єктів.

Двовимірна циклічна згортка. Як і для одновимірних сигналів, двовимірна згортка може виконуватися в області просторових частот з використанням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є і перемноженням двовимірних спектрів зображення і ядра фільтра. Вона також є циклічною, і виконується зазвичай в ковзному варіанті. З урахуванням циклічності, для обчислення постійного шаблону спектра ядра розміри маски фільтра ядра подвоюються по осях і доповнюються нулями, і ці ж розміри маски використовуються для виділення ковзає по зображенню вікна, в межах якого і виконується БПФ. Реалізація КИХ фільтра за допомогою ШПФ особливо ефективна, якщо фільтр має більшу опорну область.

Нелінійні фільтри. У цифровій обробці зображень широко застосовуються нелінійні алгоритми на основі рангової статистики для відновлення зображень, пошкоджених різними моделями шумів. Вони дозволяють уникнути додаткового спотворення зображення при видаленні шуму, а також значно поліпшити результати роботи фільтрів на зображеннях з високим ступенем зашумленості.

Введемо поняття M -околиці елемента зображення $A(x, y)$, який є для цієї околиці центральним. У найпростішому випадку M -околиця містить N -пікселів - точки, що потрапляють в маску фільтра, включаючи (або не включаючи) центральний. Значення цих N -елементів можна розташує в варіаційному ряду $V(r)$, ранжируваному по зростанню (або зменшенням), і обчислити певні моменти цього ряду, наприклад, середнє значення яскравості mN і дисперсії dN . Обчислення вихідного значення фільтра, яким замінюється центральний відлік, виконується за формулою:

$$B(x, y) = a A(x, y) + (1-a) mN.$$

Значення коефіцієнта $a = [0, 1]$ зв'язується певною залежністю зі статистикою відліків у вікні фільтра, наприклад:

$$a = dN / (dN + k dS),$$

де dS - дисперсія шумів по зображенню в цілому або по S -околиці при $S > M$ і $M \hat{=} S$, k - константа довіри дисперсії S -околиць. Як впливає з цієї формули, при $k = 1$ і $dN \gg dS$ має місце $a \gg 0.5$, а значення $B(x, y) = (A(x, y) + mN) / 2$, т. е. складаються в рівній мірі від значень центрального відліку і середнього значення пікселів його M -околиці. При збільшенні значень dN відбувається збільшення вкладу в результат значення центрального відліку, при зменшенні - значення mN . Вагомість внеску за середні значення по M -околиці можна змінювати значенням коефіцієнта k .

Вибір статистичної функції і характер залежності від неї коефіцієнта a може бути досить різноманітним (наприклад, по дисперсія різниць відліків в M -околиці з центральним відліком), і залежить як від розмірів апертури фільтра, так і від характеру зображень і шумів. По суті, значення коефіцієнта a має задавати ступінь пошкодження центрального відліку i , відповідно, функцію запозичення для його виправлення відліків з M -околиці.

Найбільш простими і поширеними типами нелінійних фільтрів для обробки зображень є порогові і медіанний фільтри.

Порогова фільтрація задається, наприклад, наступним чином:

$$B(x, y) = \begin{cases} A(x, y), & A(x, y) - m_N \leq p \\ m_N, & A(x, y) - m_N > p \end{cases}$$

Величина p є порогом фільтрації. Якщо величина центральної точки фільтра перевищує середнє значення відліків m_N в її M -околиці на величину порога, то вона замінюється середнім значенням. Значення порога може бути як константою, так і функціонально залежним від величини центральної точки.

Медіанна фільтрація визначається наступним чином:

$$B(x, y) = \text{med} \{M(x, y)\},$$

т. е. результат фільтрації є медіанне значення пікселів околиці, форма якої визначається маскою фільтра. Медіанна фільтрація здатна ефективно видаляти із зображення перешкоди, незалежно впливають на окремі пікселі. Наприклад, такими перешкодами є "биті" пікселі при цифровій зйомці, "снігової" шум, коли частина пікселів замінюється на пікселі з максимальною інтенсивністю, і т. П. Перевага медіанної фільтрації полягає в тому, що "гарячий" піксель на темному тлі буде замінений темним, а не "розмазаний" по околиці.

Медіанна фільтрація має виражену вибірковість по відношенню до елементів масиву, які представляють собою немонотонну складову

послідовності чисел в межах апертури фільтра. У той же час монотонну складову послідовності медіанний фільтр залишає без змін. Завдяки цій особливості, медіанний фільтри при оптимально обраної апертурі зберігають без спотворень різкі межі об'єктів, пригнічуючи некорельовані або слабо корельовані перешкоди і малорозмірні деталі.

Фільтри екстремумів визначаються за правилами:

$$V_{\min}(x, y) = \min \{M(x, y)\},$$

$$V_{\max}(x, y) = \max \{M(x, y)\},$$

т. е. результат фільтрації є мінімальне і максимальне значення пікселів в масці фільтра. Застосовуються такі фільтри, як правило, для бінарних зображень.

3.2 Стиснення та метрики перевірки його ефективності

3.2.1 Метрики перевірки ефективності стиску

Втрати візуальної якості будь-якого зображення можуть бути суб'єктивними. Для кожної людини втрати якості помітні в різній мірі, тобто не можна сказати, що робота саме цього алгоритму забезпечить якісне зображення. Ця причина надає нам необхідність встановити кількісні / емпіричні заходи аби ми змогли порівняти вплив алгоритмів обробки зображення на якість зображення. Прикладом метрик, які зазвичай вимірюють ефективність стиску є піковий сигнал / шум (PSNR), середньо-квадратичне відхилення (RMSE) та інші.

В рамках роботи було розроблено програмний продукт, який стискає зображення алгоритмом JPEG з різними коефіцієнтами стиску, а також обчислює деякі з метрик втрат якості, а саме:

$$1) \quad \max \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|$$

$$2) \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{nm} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2}$$

$$3) \quad \text{PSNR} = \log_{10} \left(\frac{\text{MAX}_I^2}{\text{RMSE}^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{MAX}_I}{\text{RMSE}} \right)$$

RMSE та max для наших практичних цілей дозволяє нам порівнювати "справжні" значення пікселів нашого оригінального зображення з нашим декодованим зображенням. Max дає велику похибку, для непомітних втрат на зображенні, тому є менш ефективним. А для PNSR значення 45 dB є вже не помітне для ока людини. Цей метод намагається враховувати візуальну якість, збережену методом стиснення, а також на скільки зображення було стиснене. Тож метрика PNSR дасть найбільш точну характеристику коефіцієнтам при порівнянні.

В ході роботи програми також обчислюється коефіцієнт стиснення, як основна характеристика будь-якого алгоритму стиску. Її можна вирахувати за допомогою відношення розміру вхідних даних до розміру вихідних(стиснених) даних, тобто:

$$k = \frac{S_0}{S_c},$$

де k - коефіцієнт стиснення даних, S_0 - розмір вхідних, а S_c - розмір вихідних даних. Таким чином, чим вище коефіцієнт стиснення, тим ефективніше відбулося стиснення. Слід зазначити:

- якщо $k = 1$, то стиснення не відбулось, тобто вихідний потік виявляється за обсягом рівним вхідному;
- якщо $k < 1$, то алгоритм виконує «шкідливу» роботу, тобто породжує дані більшого розміру ніж були.

3.2.2 Алгоритм JPEG

Ймовірно, JPEG - найпопулярніший в світі формат графіки. Майже половина, а саме 45% зображень на сайтах в HTTP Archive - це картинки JPEG. Будь-який телефон, цифрова камера, стара веб-камера - всі вони зазвичай підтримують даний кодек. Він використовується з 1992 року. За цей час проведено величезну кількість досліджень, як поліпшити компресію JPEG. Є невелика втрата якості через стиснення при збереженні зображення в цьому форматі. Одним із недоліків формату JPEG є те що при кожній обробці або редагуванні втрачається незначна кількість інформації, втрата якості через стиск.

JPEG - алгоритм стиснення з втратами, який відкидає «зайву» інформацію для економії місця. Завдання полягає в максимальному збереженні візуальної точності з мінімізацією розмірів файлів.

Галузь застосування

JPEG найкраще працює з повнокольоровими і монохромним зображеннями фотографічної якості. JPEG використовується скрізь, де потрібно зберігати фотозображення: в поліграфії (EPS DCS 2.0), цифрових фотоапаратах, також в мережі Інтернет.

Наведемо основні кроки, що лежать в основі цього алгоритму. Будемо вважати, що на вхід алгоритму стиснення надходить зображення з глибиною кольору 24 біта на піксель (зображення представлено в колірній моделі RGB).

1. Переклад в колірний простір YCbCr

У колірній моделі YCbCr ми представляємо зображення у вигляді яркостної компоненти (Y) і двох цветоразностних компонент (Cb, Cr). Людське око більш сприйнятливий до яскравості, а не до кольору, тому алгоритм JPEG вносить по можливості мінімальні зміни в яркостну компоненту (Y), а в

цвєторазностніє компонєнти можуть вноситися значні зміни. Переклад здійснюється за такою формулою(рисунок 4.2):

$$\begin{cases} Kg = 1 - Kr - Kb \\ Y = minY + (maxY - minY) * (Kr * R + Kg * G + Kb * B) \\ Cb = \frac{minC + maxC}{2} + \frac{maxC - minC}{2} * \frac{1}{1 - Kb} * (-Kr * R - Kg * G + (1 - Kb) * B) \\ Cr = \frac{minC + maxC}{2} + \frac{maxC - minC}{2} * \frac{1}{1 - Kr} * ((1 - Kr) * R - Kg * G - Kb * B) \end{cases}$$

Вибір Kr і Kb залежить від обладнання. Зазвичай береться $Kb = 0.114$; $Kr = 0.299$. Останнім часом також використовується $Kb = 0.0722$; $Kr = 0.2126$, що краще відображає характеристики сучасних пристроїв відображення.

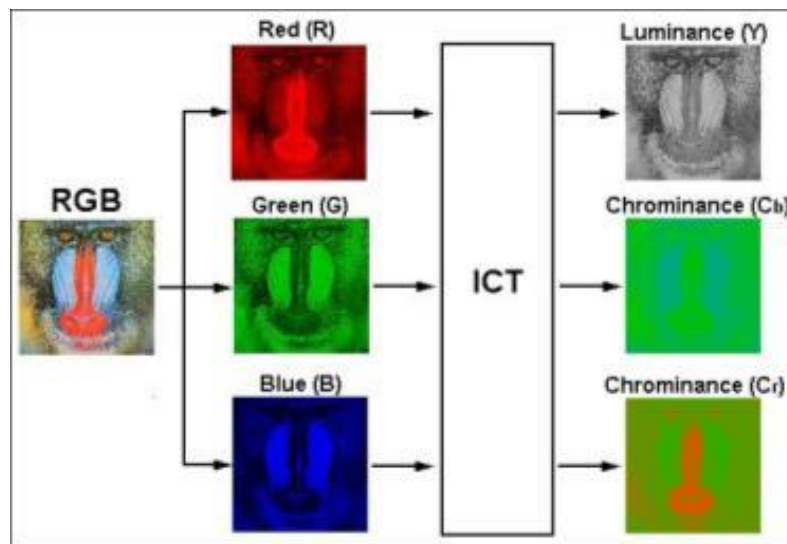


Рисунок 3.1 – Приклад перетворення з RGB в YCbCr (ICT)

2. Субдискретизація компонент кольоровості

Після перекладу в колірний простір YCbCr виконується дискретизація. Можливий один з трьох способів дискретизації:

4: 4: 4 - відсутня субдискретизація (Рисунок 3.2 а);

4: 2: 2 - компонєнти кольоровості міняються через одну по горизонталі (Рисунок 3.2 б);

4:2:0 - компоненти кольоровості міняються через один рядок по горизонталі, при цьому по вертикалі вони змінюються через рядок.

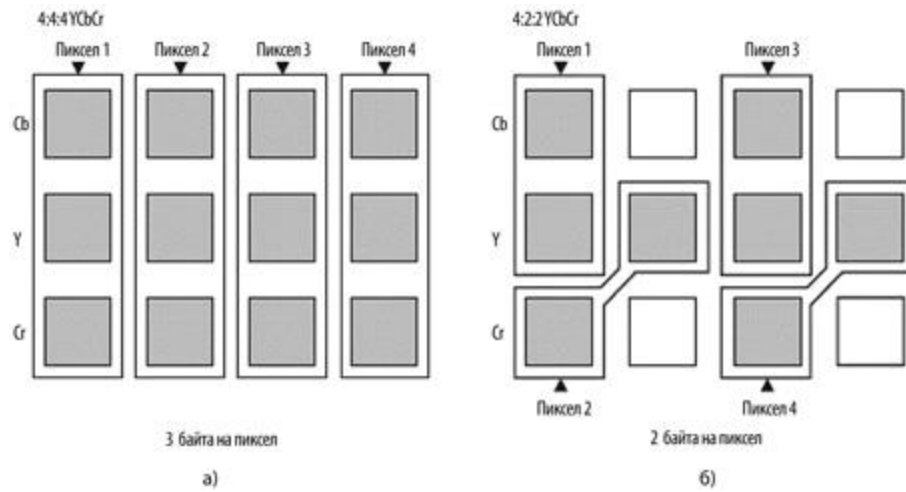


Рисунок 3.2 – Подання пікселів а) 3 байта б) 2 байта

При використанні другого або третього способу ми позбавляємося від 1/3 або 1/2 інформації відповідно. Очевидно, що чим більше інформації ми втрачаємо, тим сильніше будуть спотворення в підсумковому зображенні.

3. Дискретне косинусне перетворення

Зображення розбивається на компоненти 8 * 8 пікселів, до кожної компоненті застосовуються ДКП. Це призводить до ущільнення енергії в коді. Перетворення застосовуються до компонентів незалежно. Формально пряме ДКП для блоку 8x8 можна записати у вигляді:

$$Y(u, v) = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 A(u) A(v) X(i, j) \cos\left(\frac{\pi(i+0,5)}{8} u\right) \cos\left(\frac{\pi(j+0,5)}{8} v\right),$$

$$\text{де } A(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ \sqrt{2}, & x \neq 0 \end{cases}.$$

i, j - просторові координати пікселя (0..7),

$X(i, j)$ - значення пікселів вихідного макроблоку (припустимо, яскравість)

u, v - координати пікселя в частотному поданні (0..7)

Так як ДКП є основою роботи JPEG, тому його потрібно обчислювати швидше. Для прискорення роботи використовують завчасне обчислення функції косинуса і результат заносять у таблицю. Мало того, з огляду на ортогональність функцій косинусів з різними частотами, попередню формулу можна записати у вигляді:

$$Y(u, v) = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^7 \underbrace{A(u) \cos\left(\frac{\pi(i+0,5)}{8} u\right)}_{C(i,u)} X(i, j) \sum_{j=0}^7 \underbrace{A(v) \cos\left(\frac{\pi(j+0,5)}{8} v\right)}_{C(j,v)} .$$

C є матрицею, розміром 8x8 елементів, що описує 8-ми мірний простір, для подання стовпців блоку X в цьому просторі. Матриця C^T є транспонованою матрицею C і робить те ж саме, але для рядків блоку X . В результаті виходить перетворення, яке в матричному вигляді записується як

$$Y = CXC^T .$$

В результаті ДКП отримуємо матрицю Y , в якій коефіцієнти в лівому верхньому кутку відповідають низькочастотній складовій зображення, а в правому нижньому - високочастотній.

4. Квантування

Людина практично не здатна помічати зміни в високочастотних складових, тому коефіцієнти, що відповідають за високі частоти можна зберігати з меншою точністю. Для цього використовується покомпонентне множення (і округлення) матриць, отриманих в результаті ДКП, на матрицю квантування. На даному етапі теж можна регулювати ступінь стиснення (чим

ближче до нуля компоненти матриці квантування, тим менше буде діапазон підсумкової матриці).

5. «Зигзаг»-сканування матриць

«Зигзаг»-сканування матриці - це спеціальний напрям обходу, представлене на рисунку 3.3:

$a_{0,0}$	$a_{0,1}$	$a_{0,2}$	$a_{0,3}$	$a_{0,4}$	$a_{0,5}$	$a_{0,6}$	$a_{0,7}$
$a_{1,0}$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	$a_{1,5}$	$a_{1,6}$	$a_{1,7}$
$a_{2,0}$	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,0}$			
$a_{3,0}$	$a_{3,0}$	$a_{3,0}$	$a_{3,0}$				
$a_{4,0}$	$a_{4,1}$	$a_{4,2}$					
$a_{5,0}$	$a_{5,1}$						
$a_{6,0}$	$a_{6,1}$						
$a_{7,0}$	$a_{7,1}$						

Рис. 3.3 – «Зигзаг»- сканування

При цьому для більшості реальних зображень на початку будуть ненульові коефіцієнти, а ближче до кінця будуть записані нулі.

6. RLE- кодування

Використовується особливий вид RLE-кодування: виводяться пари чисел, причому перше число в парі кодує кількість нулів, а друге - значення після послідовності нулів. Тобто код для послідовності 0 0 15 42 0 0 0 44 буде наступним (2; 15) (0; 42) (3; 44).

7. Кодування методом Хаффмана

Алгоритм Хаффмана дозволяє будувати префіксні коди. Можна розглядати префіксні коди як шляху на бінарним дереві: проходження від вузла до його лівого сина відповідає 0 в коді, а до правого сина - 1. Якщо ми помітимо листя дерева кодованими символами, то одержимо уявлення префіксного коду у вигляді бінарного дерева.. При кодуванні використовується заздалегідь складена таблиця.

Алгоритм декодування полягає в зверненні виконаних перетворень.

До переваг алгоритму можна віднести високу ступінь стиснення (5 і більше разів), відносно невисока складність (з урахуванням спеціальних процесорних інструкцій), патентна чистота. Недолік - артефакти, помітні для людського ока.

3.3 Вхідні та вихідні параметри

Вхідні параметри:

Повнокольорове 24-бітне цифрове зображення.

Вихідні параметри:

Стиснене зображення.

Висновки розділу 3

В розділі 3 було приведено детальний опис алгоритму з втратами JPEG. Також було описано декілька метрик перевірки втрат якості та коефіцієнт стиснення для перевірки ефективності роботи алгоритму. В ході роботи було описано математичні основи фільтрації даних. Було визначено вхідні і вихідні параметри для дослідження.

4 ВПЛИВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА СТИСК

4.1 Графічні редактори

Графічний редактор – це спеціальна програма для створення, перегляду та редагування графічної інформації(малюнків, фотографій і т.п.). Серед низки редакторів було обрано 2 найпопулярніших.

У даній роботі було використано два графічних редактори, а саме: AdobePhotoshop і GIMP. AdobePhotoshop - одна з найбільш популярних програм для редагування фотографій, але вона не безкоштовна. Якщо ви витрачаєте бюджет, безкоштовна альтернатива - програма редагування фотографій - GIMP. Проведемо порівняння основних характеристик обох програм.

Графічний редактор GIMP:

- Безкоштовно
- Сумісні для Mac, Windows та Linux
- Програмне забезпечення для редагування з відкритим кодом - не потрібно турбуватися про підприємства
- Підходить для малого та середнього бізнесу та фрілансерів

Графічний редактор Photoshop:

- Пропонує щомісячні та річні підписки, а також ціни на основі котирування для підприємств
- Станом на 2019 рік, Adobe має плани фотографій, які варіюються від \$ 9,99 / місяць до 19,99 \$ на місяць та передплату на весь пакет CreativeCloud за \$ 49,99 / місяць.
- Mac, Windows, Linux, Android, iPhone / iPad та веб-сумісність.

- AdobePhotoshop можна придбати як окрему програму або як частину пакету програм AdobeCreativeCloud.

- AdobePhotoshop полегшує інтеграцію цифрових систем управління активами та платформ для співпраці проєктів.

Нижче висвітлюються унікальні особливості цих редакторів. Багато функцій у Photoshop також є у GIMP, але вони майже не такі розвинені.

Інструменти та функції Photoshop:

- Чотири засоби для ретуші
- Маскування кольорового та яскравого діапазону
- Інтенсивне згладжування
- Різні інструменти співпраці
- Міжплатформна сумісність (Lightroom, AdobeStock тощо)
- Спеціальний шлях та ширина
- Скопіюйте-вставте шари
- Інструмент кривизни ручки
- Режим СМҮК
- Неруйнівне редагування (оригінальний шар залишається незмінним)

Інструменти та функції GIMP:

- Настроюється інтерфейс
- Можна написати або змінити вихідний код відповідно до ваших потреб або створити нові плагіни
- Можливість читати та редагувати файли PSD
- Повний набір малярських інструментів
- Елементи графічного дизайну
- Цифрова ретуш

- Апаратна підтримка
- Scribus - програма розкладки сторінок з відкритим кодом, яка допоможе опублікувати ваші цифрові та друковані матеріали.
- Inkscape - безкоштовний редактор векторної графіки з відкритим кодом.
- Swatchbooker - безкоштовний додаток для Linux та Windows, що дозволяє редагувати кольорові палітри з підтримкою градієнтів та візерунків.

Тож можна зробити висновок, що кожен обирає для себе більш зручний та вигідний варіант роботи обробки зображень. Можливо для більш досвідчених користувачів та для роботи над комерційними проектами краще використовувати Photoshop. А тим користувачам, які тільки навчаються працювати з редакторами зображень слід починати свою роботу з безкоштовної програми GIMP.

Щодо зображень, які було обрано для аналізу впливу обробки на стиск. Фотографії було поділено на 4 різні групи, а саме:

- Зроблені на професійний фотоапарат
- Зроблені на любительський фотоапарат
- Зроблені на телефон з відмінними характеристиками камери
- Зроблені на телефон з довільними характеристиками камери

Для обробки використовувалися декілька основних методів, таких як:

- Зміни яскравості
- Зміни контрасту
- Зміни насиченості
- Накладання фільтрів
- Та інше

4.2 Обробка в AdobePhotoshop

При обробці Photoshop було отримано 12 таблиць з даними (для кожної групи зображень) і з кожної обрано максимальне та мінімальне значення, а також вираховане середні значення по метриці втрати якості та коефіцієнту стисненого зображення.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(професійні).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	13,40	3,18	7,66	59,94	39,66	50,26
Вібрація +50	13,61	3,45	8,48	63,31	39,11	51,61
Вібрація -50	12,93	3,08	7,96	64,38	39,12	53,12
Контраст +50	13,71	3,04	8,20	64,25	41,51	52,55
Контраст -50	13,45	3,60	8,08	64,03	42,00	52,97
Насиченість +50	13,89	3,24	8,04	61,26	39,09	52,33
Насиченість -50	13,86	3,45	8,83	64,25	39,65	53,96
Теплий фільтр	13,88	3,01	7,74	63,43	40,65	51,53
Яскравість +10	13,76	3,74	9,38	64,43	39,92	50,62
Яскравість -10	14,00	3,11	8,35	64,62	40,20	52,52
Яскравість +50	13,24	3,40	7,48	64,20	39,87	55,08
Яскравість -50	13,77	3,69	8,62	59,43	39,47	49,01

Розглянемо більш детально результати таблиці порівнюючи стиснені зображення після обробки та оригінал. Порівнюючи max коефіцієнту стиснення можна сказати, що лише після зменшення вібрації даний результат стає менше

ніж у оригіналах. Для min всі значення крім зменшення вібрації, збільшення контрасту, накладання теплого фільтру та зменшення яскравості на 10 одиниць дають більший результат. Порівнюючи середні значення коефіцієнтів можна помітити, що найгірший результат має саме оригінал. Для максимуму метрики PSNR всі значення вищі аніж у початкового зображення окрім зменшення яскравості на 50 одиниць. Щодо мінімуму найгірші показники отримали при зміні вібрації та при зменшенні насиченості і яскравості на 50 одиниць. При порівнянні середніх значень гірший показник має зменшення яскравості на 50 одиниць.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(любительські).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	14,93	3,93	7,07	65,93	40,94	51,52
Вібрація +50	13,90	3,89	6,76	65,63	40,68	50,01
Вібрація -50	13,35	4,08	7,00	65,63	43,14	52,11
Контраст +50	12,55	3,79	6,53	64,49	38,99	48,76
Контраст -50	13,14	3,97	6,72	63,82	40,56	49,81
Насиченість +50	12,05	3,75	6,32	65,63	36,65	47,03
Насиченість -50	15,15	4,26	7,25	65,63	46,49	53,76
Теплий фільтр	13,08	3,91	6,69	56,29	40,84	49,99
Яскравість +10	14,32	4,03	7,04	64,51	41,73	51,00
Яскравість -10	14,32	4,03	7,04	64,56	41,51	50,94
Яскравість +50	13,56	3,72	6,24	63,84	38,30	48,26
Яскравість -50	11,89	4,14	7,13	64,46	39,29	49,87

Тож після всіх видів обробки(крім зменшення насиченості) максимальний показник коефіцієнту стисненого зображення зменшився. Щодо мінімального показнику, то зменшення показнику стисненого зображення було після збільшення контрастності, насиченості, яскравості на 50 одиниць та використанні теплого фільтру. Середнє значення коефіцієнту погіршилось після всіх методів обробки, крім зменшення яскравості і насиченості на 50 одиниць. Щодо максимального значення PSNR, то обробка зменшила всі показники порівняно з оригіналом, мінімальний показник погіршився в усіх зображень, крім зменшення вібрації, насиченості та збільшення і зменшення яскравості на 10 одиниць. Середнє значення метрики PSNR зменшилась в усіх випадках, крім зменшення вібрації та насиченості.

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(телефон з хор. камерою).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	13,65	3,39	8,05	64,39	39,70	51,21
Вібрація +50	13,68	3,25	8,79	62,10	39,84	50,72
Вібрація -50	13,88	3,10	8,48	63,05	40,71	52,99
Контраст +50	13,37	3,10	9,04	64,95	41,34	53,27
Контраст -50	13,17	3,18	8,02	64,94	40,91	53,34
Насиченість +50	13,97	3,04	8,69	62,82	39,15	48,21
Насиченість -50	13,17	3,50	8,06	64,65	40,14	51,33
Теплий фільтр	13,87	4,04	9,25	64,60	39,21	51,04
Яскравість +10	13,92	3,58	6,43	64,90	39,43	50,89

Продовження таблиці 1.3

Яскравість -10	13,77	3,14	8,61	64,36	40,36	51,93
Яскравість +50	13,99	3,68	8,18	63,43	39,27	50,51
Яскравість -50	13,81	3,28	8,71	60,12	41,45	49,96

Оцінюючи вплив обробки на цю групу зображень можна зробити висновки, що зменшення насиченості і контрасту на максимум коефіцієнту стиску впливають погано. Щодо мінімальних значень, то лише зменшення насиченості, накладання теплого фільтру та збільшення показника яскравості дають більше значення, аніж у оригіналу. Враховуючи середні значення цього коефіцієнту, то лише зменшення контрасту дає гірший результат. Щодо метрики PSNR покращуються максимальні показники при зміні контрасту, зменшенні насиченості, накладанні фільтру та збільшення яскравості на 10 одиниць. Зменшення насиченості, накладання теплого фільтру та збільшення яскравості погіршує результат стиску, а саме мінімальних значень цієї метрики. Відносно середніх значень метрики, то покращення результату отримуємо після зменшення яскравості на 10 одиниць, змін контрасту та зменшенні насиченості і вібрації.

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(телефон з дов. камерою).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	12,25	3,79	6,80	61,75	47,35	55,37
Вібрація +50	11,15	3,67	6,28	55,91	46,06	51,94
Вібрація -50	11,15	3,82	6,41	56,82	49,14	53,39

Контраст +50	10,31	3,51	5,72	55,06	44,96	50,53
Контраст -50	10,26	3,61	5,99	55,39	46,16	50,71
Насиченість +50	10,64	3,42	5,88	54,94	42,08	48,13
Насиченість -50	12,15	3,88	6,71	57,71	51,54	54,85
Теплий фільтр	11,07	3,64	6,08	55,43	46,70	51,37
Яскравість +10	11,17	3,87	6,52	56,50	47,78	52,98
Яскравість -10	11,18	3,87	6,33	56,50	47,77	53,02
Яскравість +50	10,06	3,33	5,57	54,62	43,96	49,77
Яскравість -50	10,82	4,00	6,47	56,66	44,49	51,36

Розглядаючи групу зображень зроблених на телефон з довільними характеристиками камери. Відносно максимальних значень коефіцієнту стиску, то всі методи обробки погіршили значення. Мінімальні значення покращуються при зменшенні вібрації, насичення та яскравості, а також при збільшенні яскравості на 10 одиниць. Найкраще значення з середніх приймає саме оригінал. Такий же результат і для максимальних значень PSNR. Зменшення вібрації, насиченості та зміни яскравості на 10 одиниць покращують максимальні показники результатів стиску. Дивлячись на середні значення метрики можна помітити погіршення після всіх методів обробки.

4.3 Обробка в GIMP

Результати впливу обробки графічним редактором GIMP для тих самих груп зображень.

Таблиця 1.5 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(професійні фото).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	13,91	3,39	9,15	64,33	40,51	52,16
Контраст +50	13,22	3,10	8,03	64,32	39,25	54,30
Контраст -50	13,82	3,60	8,16	63,40	39,36	51,26
Насиченість +50	13,77	3,13	8,37	64,99	39,70	53,80
Насиченість -50	13,50	3,24	8,81	61,71	39,28	49,08
Теплий фільтр	13,91	3,52	8,96	63,49	39,12	52,97
Яскравість +50	13,72	3,45	8,99	63,69	39,22	51,55
Яскравість -50	13,87	3,45	8,51	65,00	39,53	53,26

Для групи зображень зроблених на професійний фотоапарат можна помітити, що максимальне значення дає кращий результат в двох випадках при стисненні оригіналу та зображення з накладанням теплого фільтру. Зміни яскравості, теплий фільтр та зменшення насиченості покращує мінімальний коефіцієнт стиску. Відносно середніх значень, то кращий результат має лише оригінал. Погіршення максимуму метрики можна побачити при зменшенні насиченості та змінах контрасту. Краще мінімальне значення PSNR саме у оригіналу. Зменшення контрасту та насиченості, а також збільшення яскравості погіршують середнє значення метрики RSNR.

Таблиця 1.6 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(любительська камера).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	14,93	3,93	7,07	65,93	40,94	51,52
Контраст +50	18,75	2,67	5,42	71,60	32,53	43,41
Контраст -50	12,78	3,72	6,42	65,00	45,99	53,44
Насиченість +50	9,56	2,82	4,86	65,93	36,51	47,31
Насиченість -50	11,18	3,14	5,41	65,93	46,27	53,82
Вирівнювання	5,75	2,13	3,51	63,63	35,28	41,74
Яскравість +50	10,95	3,15	5,44	64,41	42,68	51,47
Яскравість -50	10,95	3,15	5,54	64,47	42,47	51,61

Порівнюючи данні отримані при обробці фотографій з любительського фотоапарату, можна помітити, що при збільшенні контрасту збільшується значення максимальний коефіцієнту стиску. Відносно мінімуму та середнього значення коефіцієнту , то будь які зміни зображення погіршують результат стиску. Максимальне значення PSNR збільшується при підвищенні контрасту та не змінюється при зміні насиченості відносно оригіналу. Зменшення контрасту та насиченості, а також зміни яскравості збільшують мінімальний показник метрики. Якщо розглядати середні значення то зменшення контрасту, насиченості та яскравості дають покращений результат.

Таблиця 1.7 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(телефон з хор. камерою).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	14,93	3,93	7,07	65,93	40,94	51,52
Контраст +50	18,75	2,67	5,42	71,60	32,53	43,41
Контраст -50	12,78	3,72	6,42	65,00	45,99	53,44
Насиченість +50	9,56	2,82	4,86	65,93	36,51	47,31
Насиченість -50	11,18	3,14	5,41	65,93	46,27	53,82
Вирівнювання	5,75	2,13	3,51	63,63	35,28	41,74
Яскравість +50	10,95	3,15	5,44	64,41	42,68	51,47
Яскравість -50	10,95	3,15	5,54	64,47	42,47	51,61

Порівнюючи данні отримані при обробці фотографій з телефону з хорошими характеристиками камери, можна помітити, що при збільшенні контрасту збільшується значення максимальний коефіцієнту стиску. Відносно мінімуму та середнього значення коефіцієнту , то будь які зміни зображення погіршують результат стиску. Максимальне значення PSNR збільшується при підвищенні контрасту та не змінюється при зміні насиченості відносно оригіналу. Зменшення контрасту та насиченості, а також зміни яскравості збільшують мінімальний показник метрики. Якщо розглядати середні значення то зменшення контрасту, насиченості та яскравості дають покращений результат.

Таблиця 1.8 – Коефіцієнт стисненого зображення та метрика втрати якості при використанні різних методів попередньої обробки(телефон з дов. камерою).

Метод обробки	Коефіцієнт стисненого зобр.			PSNR, dB		
	max	min	сер.знач.	max	min	сер.знач.
Оригінал	12,25	3,79	6,80	61,75	47,35	55,37
Контраст +50	9,92	2,41	3,85	50,13	37,59	43,55
Контраст -50	9,94	3,45	5,73	58,53	47,35	54,44
Насиченість +50	8,12	2,62	4,61	55,06	43,81	49,80
Насиченість -50	8,98	2,92	5,08	57,78	51,64	55,02
Вирівнювання	5,89	2,28	3,43	55,82	34,53	42,88
Яскравість +50	8,49	3,01	5,04	56,48	50,00	53,24
Яскравість -50	8,49	3,01	4,98	56,48	41,20	52,78

Розглядаючи данні останньої група, а саме фотографії отримані з телефону з довільними характеристиками камери. Коефіцієнт стисненого зображення погіршуються у всіх випадках, для всіх трьох значень, так само як і для максимуму та середнього значення метрики PSNR. Зменшення насиченості та контрасту, а також збільшення яскравості не погіршують, а в деяких випадках покращують мінімальне значення метрики.

Висновки розділу 4

Підводячи підсумки по обробці Photoshop, можна зазначити, що максимальний показник стиску покращився майже в усіх чотирьох випадках при зменшенні насиченості. Для мінімального показнику коефіцієнту стиску та максимального показнику метрики PSNR важно визначити, який саме метод

був дієвим та покращив результати. Відносно середнього значення можна помітити, що зменшення яскравості та насиченості дає гарний результат. Відносно мінімального показнику, то зменшення вібрації, насиченості та зміна яскравості на 10 одиниць покращають вхідне зображення. Середнє значення покращується при зменшенні вібрації та насиченості.

Щодо обробки зображень в графічному редакторі GIMP. На відміну від обробки Photoshop обробка дає погіршення мінімуму та середнього значення коефіцієнту стиску, лише максимум при збільшенні контрасту дає кращий результат. Відносно метрики PSNR максимум покращуються при збільшенні контрасту та зміні насиченості. Мінімум та середнє значення дають кращі результати при зменшенні контрасту, насиченості та зміні яскравості.

Тож використовуючи отримані результати можна обрати той, чи інший метод обробки та графічний редактор, який покращує коефіцієнт стисненого зображення чи робить майже непомітними втрати якості. Або врахувати втрати якості при обробці чи збільшенні розміру стисненого зображення.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Опис продукту

У даній роботі був проведений системний аналіз методів стиску зображень. На основі результатів було створено інформаційну систему стиску зображень. Також створено програму для стиснення зображень алгоритмом JPEG , перевірено вплив попередньої обробки на результати стиску і зроблено висновки.

5.2 Розробка переліку робіт зі створення інформаційної системи

В даному розділі необхідно скласти перелік робіт зі створення імітаційної моделі і математичних розрахунків, пронормувати роботи, та розрахувати трудоємність.

Основними статтями затрат, які враховуються при визначенні собівартості продукту, є:

- вартість матеріалів;
- вартість покупних комплектуючих;
- витрати на утримання та експлуатацію обладнання;
- амортизація обладнання;
- витрати на відшкодування вартості використаних інструментів;
- зарплатний та преміальний фонд
- єдиний соціальний внесок;
- затрати на інфраструктуру.

Тривалість окремого етапу визначається наступним співвідношенням:

$$T = \frac{t}{n}$$

де T – тривалість етапу, визначається в робочих днях, округляючи до цілого; t – трудомісткість етапу (людино-дні); n - прийнята кількість виконавців, зайнятих одночасно виконанням етапу.

Трудомісткість – показник характерезуючий затрати живої праці вираженої в робочому часі ,витраченому на виробництво одиниці продукції.

Результати розрахунку трудомісткості подані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Перелік робіт з розробки продукту

№	Етапи	Трудомісткість, людино-дні		
		Керівник	Системний аналітик	Фахівець у області розробки ООП
1	Розробка ТЗ	2	-	-
2	Аналіз інформаційних потоків	-	2	-
3	Створення ПП	-	-	6
4	Тестування ПП	-	-	2
5	Перевірка впливу обробки	-	7	-
6	Висновки	1	1	-

Згідно з розрахунками, трудоемність системного аналітика дорівнює 10 людино-днів, фахівця у області об'єктно-орієнтованого програмування – 8 людино-днів, керівника - 3 людино-дні.

5.3 Розрахунок витрат на розробку продукту

У таблиці 5.2 представлені витрати на основні матеріали. Оренда приміщення на місяць 6000 грн з комунальними витратами, або 200 грн день. Оренда на 17 днів буде коштувати 3400 грн.

Таблиця 5.2 – Затрати на матеріали

№	Матеріал	Призначення	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Пакет Microsoft Office	Оформлення ТЗ, звітів і висновків	1	2500,00	2500,00
2	Програмний пакет VisualStudio	Розробка ПО	1	13 338	13 338

Продовження таблиці 5.2

3	ПК	Оформлення ТЗ, звітів і висновків. Розробка ПО.	1	20000	40000
Разом				55 838 грн	

Розмір затрат на матеріал і оренду складає 59238,00 грн.

У виготовленні вказаного продукту приймають участь системний аналітик та спеціаліст у області об'єктно-орієнтованого програмування. Місячний (22 робочих змін в місяці) і денний оклади працівників представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Виконавці проекту

№	Виконавець	Місячна ЗП, грн	Денна ЗП, грн
1	Системний аналітик	10010,00	455
2	Спеціаліст у області об'єктно-орієнтованого програмування	9020,00	410
3	Керівник	11000,00	500

Місячна заробітна платня системного аналітика становить – 10010,00 гривень, спеціаліста у області об'єктно-орієнтованого програмування – 9020,00 грн, керівника – 11000,00 грн.

Заробітна плата (ЗП) - це грошова винагорода, яку працівник отримує за виконану роботу.

Основна заробітна плата (ОЗП) – заробітна плата нарахована робітнику за фактично відпрацьований час.

В основу включаються доплати за роботу в нічні години, за роботу наднормово. Таку зарплату розраховують згідно окладів, тарифної сітки, премій.

Фонд основної заробітної плати разом з додатковою заробітною платою основних і допоміжних працівників становить загальний фонд заробітної плати працівників.

Фонд основної заробітної плати знаходиться за формулою:

$$Z_{oc} = Z_{ca} \cdot T_{ca} + Z_{п} \cdot T_{п} + Z_{к} \cdot T_{к}$$

де T_{ca} , $T_{п}$ - трудомісткість роботи системного аналітика, керівника і фахівця у області об'єктно-орієнтованого програмування. Z_{ca} , $Z_{п}$ – зарплати системного аналітика, керівника і спеціаліста у області об'єктно-орієнтованого програмування. Маємо:

$$Z_{oc} = 455 \cdot 10 + 410 \cdot 8 + 500 \cdot 3 = 9330 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата (ДЗП) - компенсація за роботу виконану наднормово, за спіхи в роботі та за нестандартні умови праці (доплати, надбавки, компенсації).

Частіше всього ДЗП становить 20% від основної зарплати.

$$З_{\text{дод}} = \frac{З_{\text{ос}} \cdot Н_{\text{дод}}}{100}$$

В якій $З_{\text{ос}}$ – основна зарплатня; $Н_{\text{дод}}$ - відсоток відрахувань до додаткової зарплатні ключових працівників.

Звідси:

$$З_{\text{дод}} = \frac{9330 \cdot 20}{100} = 1866 \text{ грн}$$

Фонд заробітної плати - розмір винагород, наданий найманому персоналу відповідно якості виконаної ними роботи, та компенсацій, які виплачуються за особливі умови, якщо вони є.

Фонд заробітної плати складається з:

$$\Phi_{\text{зп}} = З_{\text{ос}} + З_{\text{дод}}$$

де $З_{\text{дод}}$ – додаткова заробітна платня.

отримуємо:

$$\Phi_{\text{зп}} = 9330 + 1866 = 11196 \text{ грн}$$

Внесок до єдиного соціального фонду становить 22%

$$\text{ЄСВ} = \frac{\Phi_{\text{зп}} \cdot Н_{\text{соц}}}{100}$$

В якому $\Phi_{\text{зп}}$ - фонд зарплатні, $Н_{\text{соц}}$ – % єдиного соціального фонду.

Отримуємо:

$$\text{ЄСВ} = \frac{11196 \cdot 22}{100} = 2463,12 \text{ грн}$$

Вартість основних засобів приведено у таблиці 5.2 для розрахунку амортизації відрахування

Також для виконання поставленої задачі необхідно закупити ноутбуки загальною вартістю 55 838 грн.

Амортизаційні відрахування (АМВ) – це спосіб бухгалтерського відшкодування первинної або ремонтної вартості основних засобів та нематеріальних активів. Амортизаційні відрахування включають у витрати виробництва або обігу.

Норма амортизації становить 25% від ринкової вартості, за один рік.

Амортизаційні відрахування вартості одного ПК:

$$\text{АМВ}_{\text{річ}} = 27919 \cdot 0,25 = 6\,979,75 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування за вказаний період:

$$\text{АМВ} = \sum_{j=1}^2 \frac{\text{АМВ}_{\text{річ}}}{T_i} \cdot t_j$$

де $\text{АМВ}_{\text{час}}$ – величина амортизації обладнання працюючого протягом однієї години; T_i – фонд роботи ти обладнання в днях; t_i – трудомісткість робітника..

Отримуємо:

$$\text{АМВ} = \frac{6\,979,75}{22 \cdot 12} \cdot 10 + \frac{6\,979,75}{22 \cdot 12} \cdot 8 = 475,89 \text{ грн}$$

Собівартість – є суммою всіх витрат, котрі несе підприємство при виготовленні товару чи наданні послуг, и подальшої його реалізації.

Собівартість складається з усіх наведених раніше факторів:

$$C_p = Z_m + \Phi_{\text{зп}} + B_{\text{соц}} + \text{АМВ}$$

де Z_M – затрати на матеріали; $\Phi_{ЗП}$ – фонд вилат зарплатгі; $Z_{соц}$ –єдиний соціальний внесок ; $АМВ$ – відрахування на амортизацію.

$$C_p = 59238 + 8796 + 1935,12 + 475,89 = 70\,445,01 \text{ грн}$$

Π – запланований дохід. При проведені аналізу ринку збуту був виявлений продукт з аналогічними функціями. Тому прибуток становить 15% від собівартості розробки.

$$\Pi = 0,15 \cdot C_p$$

Звідси:

$$\Pi = 0,15 \cdot 70310,03 = 10\,566,75 \text{ грн}$$

Ціна розробки без ПДВ

$$Ц = C_p + \Pi$$

Отримуємо:

$$Ц = 70\,445,01 + 10\,566,75 = 81011,76 \text{ грн}$$

ПДВ - податок на додану вартість (становить 20% від запланованого доходу).

$$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot Ц$$

Маємо:

$$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot 81011,76 = 16\,202,35 \text{ грн}$$

Ціна розробки - грошовий еквівалент вартості одиниці товару при її реалізації споживачеві.

Розрахунок ціни розробки розраховується за формулою:

$$C_{\text{роз}} = C_p + П + \text{ПДВ}$$

Отримуємо:

$$C_{\text{роз}} = 70\,445,01 + 10\,566,75 + 16\,202,35 = 97\,214,11 \text{ грн}$$

Таблиця 5.4 – Статті калькуляції на розробку продукту

№	Статті калькуляції	Витрати, грн	Зауваження
1	Матеріали і оренда офісу	59238,00	Табл. 5.2
2	Основна заробітна плата	9330	$Z_{\text{ос}} = Z_{\text{са}} \cdot T_{\text{са}} + Z_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}$
3	Додаткова заробітна плата	1866	$Z_{\text{дод}} = \frac{Z_{\text{ос}} \cdot H_{\text{дод}}}{100}$
4	Фонд заробітної плати	11196	$\Phi_{\text{зп}} = Z_{\text{ос}} + Z_{\text{дод}}$
5	ЄСВ	2463,12	$B_{\text{соц}} = \frac{\Phi_{\text{зп}} \cdot H_{\text{соц}}}{100}$
6	Амортизаційні відрахування	475,89	$\text{AMB} = \sum_{j=1}^2 \frac{\text{AMB}_{\text{річ}}}{T_i} \cdot t_j$
7	Собівартість розробки	70 445,01	$C_p = Z_{\text{м}} + \Phi_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}} + Z_{\text{оп}} + \text{AMB}$

Продовження таблиці 5.4

8	Прибуток	10 566,75	$\Pi = 0,15 \cdot C_p$
9	Ціна (без ПДВ)	81011,76	$C_p + \Pi$
10	НДС	16 202,35	$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot (C_p + \Pi)$
11	Ціна розробки (з ПДВ)	97214,11	$C_{\text{роз}} = C_p + \Pi + \text{ПДВ}$

5.4 Альтернативний процес розробки програмного продукту

В цілому для можливого зменшення собівартості робіт можливий другий варіант, а саме використання орендованого обладнання. Також обов'язки керівника буде виконувати системний аналітик.

5.5 Розробка переліку робіт зі створення інформаційної системи

В даному розділі необхідно скласти перелік робіт зі створення імітаційної моделі і математичних розрахунків, пронормувати роботи, та розрахувати трудоемність.

Основними статтями затрат, які враховуються при визначенні собівартості продукту, є:

- вартість матеріалів;
- вартість покупних комплектуючих;
- витрати на утримання та експлуатацію обладнання;
- амортизація обладнання;
- витрати на відшкодування вартості використаних інструментів;

- зарплатний та преміальний фонд
- єдиний соціальний внесок;
- затрати на інфраструктуру.

Тривалість окремого етапу визначається наступним співвідношенням:

$$T = \frac{t}{n}$$

де T – тривалість етапу, визначається в робочих днях, округляючи до цілого; t – трудомісткість етапу (людино-дні); n - прийнята кількість виконавців, зайнятих одночасно виконанням етапу.

Результати розрахунку трудомісткості подані в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Перелік робіт з розробки продукту

№	Етапи	Трудомісткість, людино-дні	
		Системний аналітик	Фахівець у області розробки ООП
1	Розробка ТЗ	2	-
2	Аналіз інформаційних потоків	2	-
3	Створення ПП	-	6
4	Тестування ПП	-	2
5	Перевірка впливу обробки	7	-
6	Висновки	1	-

Згідно з розрахунками, трудомісткість системного аналітика дорівнює 12 людино-днів, фахівця у області об'єктно-орієнтованого програмування – 8 людино-днів.

5.6 Розрахунок витрат на розробку продукту

Розрахуймовитрати на матеріали і комплектуючі, необхідні для реалізації продукту. Амортизацію не розраховуємо, тому що орендуємо приміщення з меблями, а також ПК. Оренда офісу на місяць 6000 грн. з комунальними витратами, або 200 грн. в день. Оренда на 20 днів буде коштувати 4000 грн.

Оренда двох ноутбуків по 1000 грн. Вартість на 8 днів - 8000 грн. і на 12 днів 12000 грн. Загальна вартість оренди ноутбуків на час створення продукту 20000 грн.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

№	Матеріал	Призначення	Кількість, днів.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Оренда ПК 1	Оформлення ТЗ, звітів і висновків.	12	1000	12000
2	Оренда офісу	Місце для роботи	20	200	4000

Продовження таблиці 5.6

3	Оренда ПК 2	Розробка ПО.	8	1000	8000
Разом				24000,00	

У виготовленні вказаного продукту приймають участь системний аналітик та спеціаліст у області об'єктно-орієнтованого програмування. Місячний (22 робочих змін в місяці) і денний оклади працівників представлені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Виконавці проекту

№	Виконавець	Місячна ЗП, грн	Денна ЗП, грн
1	Системний аналітик	12000,00	545,45
2	Фахівець у області об'єктно-орієнтованого програмування	10010,00	455

Місячна заробітна платня системного аналітика становить – 12000,00 гривень, спеціаліста у області об'єктно-орієнтованого програмування – 10010,00 грн.

В основну включаються доплати за роботу в нічні години, за роботу наднормово. Таку зарплату розраховують згідно окладів, тарифної сітки, премій.

Фонд основної заробітної плати разом з додатковою заробітною платою основних і допоміжних працівників становить загальний фонд заробітної плати працівників.

Фонд основної заробітної плати знаходиться за формулою:

$$Z_{oc} = Z_{ca} \cdot T_{ca} + Z_{п} \cdot T_{п}$$

де T_{ca} , $T_{п}$ - трудомісткість роботи системного аналітика, фахівця у області розробки баз даних і фахівця у області об'єктно-орієнтованого програмування. Z_{ca} , $Z_{п}$ – зарплати системного аналітика, фахівця у області розробки баз даних і фахівця у області об'єктно-орієнтованого програмування. Маємо:

$$Z_{oc} = 455 \cdot 8 + 545,45 \cdot 12 = 10185,4 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата (ДЗП)

Зазвичай ДЗП становить 20% від основної зарплати.

$$Z_{дод} = \frac{Z_{oc} \cdot N_{дод}}{100}$$

де Z_{oc} – основна заробітна плата; $N_{дод}$ - відсоток відрахувань до додаткової заробітної плати основних виробничих робітників.

Звідси:

$$Z_{дод} = \frac{10185,4 \cdot 20}{100} = 2037,08 \text{ грн}$$

Фонд заробітної плати - сума винагород, наданих найманим працівникам відповідно до кількості і якості їх праці, а так само компенсацій, пов'язаних з умовами праці.

Фонд заробітної плати дорівнює:

$$\Phi_{зп} = Z_{oc} + Z_{дод}$$

де $Z_{дод}$ – додаткова заробітна платня.

Отримуємо:

$$\Phi_{зп} = 10185,4 + 2037,08 = 12222,48 \text{ грн}$$

Внесок до єдиного соціального фонду становить 22%

$$ССВ = \frac{\Phi_{зп} \cdot H_{соц}}{100}$$

В якому $\Phi_{зп}$ - фонд зарплатні, $H_{соц}$ – % єдиного соціального фонду.

Отримуємо:

$$ССВ = \frac{12222,48 \cdot 22}{100} = 2688,95 \text{ грн}$$

Собівартість - це вартісна оцінка використаних в процесі виробництва продукції (робіт, послуг) природних ресурсів, сировини, матеріалів, основних фондів, трудових ресурсів та інших витрат на її виробництво і реалізацію.

Собівартість розробки продукту дорівнює сумі усіх вказаних раніше витрат:

$$C_p = Z_m + \Phi_{зп} + B_{соц}$$

де Z_m – вартість витрат на матеріали; $\Phi_{зп}$ – фонд заробітної плати; $B_{соц}$ – єдиний соціальний фонд.

$$C_p = 12222,48 + 2688,95 + 24000 = 38911,43 \text{ грн}$$

Π – запланований дохід. При проведенні аналізу ринку збуту був виявлений продукт з аналогічними функціями. Тому прибуток становить 15% від собівартості розробки.

$$\Pi = 0,15 \cdot C_p$$

Звідси:

$$\Pi = 0,15 \cdot 23451,96 = 5836,71 \text{ грн}$$

Ціна розробки без ПДВ

$$Ц = C_p + \Pi$$

Звідси:

$$Ц = 38911,43 + 5836,71 = 44748,14 \text{ грн}$$

ПДВ - податок на додану вартість (становить 20% від запланованого доходу).

$$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot \text{Ц}$$

Маємо:

$$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot 44748,14 = 8949,63 \text{ грн}$$

Ціна розробки - грошовий вираз вартості одиниці продукції при її реалізації споживачеві. Ціна розробки розраховується за формулою:

$$\text{Ц}_{\text{роз}} = \text{C}_p + \text{П} + \text{ПДВ}$$

Маємо:

$$\text{Ц}_{\text{роз}} = 38911,43 + 5836,71 + 8949,63 = 53697,77 \text{ грн}$$

Калькуляційна стаття - певний вид витрат, який утворює собівартість як всієї продукції в цілому, так і окремих її видів (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 – Статті калькуляції на розробку продукту

№	Статті калькуляції	Витрати, грн	Зауваження
1	Матеріали	24000,00	Табл. 5.7
2	Основна заробітна плата	10185,4	$З_{\text{ос}} = З_{\text{са}} \cdot T_{\text{са}} + З_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}$
3	Додаткова заробітна плата	2037,08	$З_{\text{дод}} = \frac{З_{\text{ос}} \cdot H_{\text{дод}}}{100}$
4	Фонд заробітної плати	12222,48	$\Phi_{\text{зп}} = З_{\text{ос}} + З_{\text{дод}}$
5	ЄСВ	2688,95	$V_{\text{соц}} = \frac{\Phi_{\text{зп}} \cdot H_{\text{соц}}}{100}$
6	Собівартість розробки	38911,43	$C_p = З_{\text{м}} + \Phi_{\text{зп}} + З_{\text{соц}} + З_{\text{оп}} + \text{АМВ}$

Продовження таблиці 5.8

7	Прибуток	4033,66	$\Pi = 0,15 \cdot C_p$
8	Ціна (без ПДВ)	5836,71	$C_p + \Pi$
9	НДС	8949,63	$\text{ПДВ} = 0,2 \cdot (C_p + \Pi)$
10	Ціна розробки (з ПДВ)	44748,14	$C_{\text{роз}} = C_p + \Pi + \text{ПДВ}$

Висновки до розділу 5

Собівартість проекту становить 70445,01 грн, ціна розробки з урахуванням ПДВ – 97214,11 грн та планового прибутку – 10556,75 грн. Щодо альтернативного розрахунку, собівартість проекту становить 38911,43 грн, ціна розробки з урахуванням ПДВ – 44748,14 грн та планового прибутку - 4033,66 грн.

При відсутності керівника в команді для якісного виконання робіт потребуються більш кваліфіковані спеціалісти, тому в альтернативному варіанті фонд заробітної плати збільшився. Після змін фонд ЗП становив 12222,48 грн. Щодо роботи команди за участі керівника та без підвищення ЗП, то фонд ЗП становить 11196 грн. Відносно ще однієї статті калькуляції, а саме матеріали, то при покупці комп'ютерів та ліцензійного програмного забезпечення потребує 59238,00 грн. При орендуванні ноутбуків з наявним на них ПЗ – 24000,00 грн.

Перераховані розрахунки дозволяють розрахувати собівартість продукту, на підставі якої можлива оцінка і формування прибутку для подальшої реалізації продукту на ринку. Тож можна зробити висновок, що альтернативний варіант кращий, так як має меншу собівартість розробки майже у два рази.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було проаналізовано інформаційні джерела стосовно стиску даних, та отримано проблематику теми. На основі проблематики було поставлено мету, цілі та завдання дослідження, а також перераховано методи для рішення поставлених завдань.

В роботі приведено доведення, що об'єкт дослідження є системою з точки зору системного аналізу. Для системи стиснення інформації проведено класифікаційний, структурний, функціональний та інформаційний аналіз.

При порівнянні метрик втрат якості було перераховано та описано декілька метрик. Та зроблені висновки, що метрика PSNR в даному випадку дає кращий результат. Тож порівняння впливу обробки на стиск було проведено завдяки вище приведеній метриці та коефіцієнту стиснення задля врахування ефективності стиску порівняно з оригіналами зображень.

Підводячи підсумки по впливу обробки на стиск можна сказати, що кожний графічний редактор виконує свої перетворення для отримання тих, чи інших змін в вхідному зображенні. Тому врахувати, як саме зміниться зображення дуже важко. Та сказати який саме редактор може покращити стист та художній вигляд зображення більше також.

Можна зазначити, що при обробці у Photoshop, зменшення насиченості покращувало ефективність стиснення і відносно втрат якості і відносно коефіцієнту стиску. Також гарно впливали зменшення вібрації та збільшення яскравості зображень, але не в усіх випадках.

Щодо обробки зображень в графічному редакторі GIMP, то збільшення контрасту дає кращий результат стиснення. Також зменшення насиченості і зміни контрасту для деяких зображень покращують результат.

Тож використовуючи отримані результати можна обрати той, чи інший метод обробки та графічний редактор, який покращує коефіцієнт стисненого зображення чи робить майже непомітними втрати якості. Або врахувати втрати якості при обробці чи збільшення розміру стисненого зображення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. Методическое пособие. Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. М.В.Ломоносова, 1999 г. - 76 с.
2. Алгоритмы сжатия [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://mf.grsu.by/UchProc/livak/en/po/comprsite/theory_contents.html.
3. Методы сжатия данных: Сжатие изображений[Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.compression.ru/book/part2/part2__3.htm
4. Тропченко А.Ю., Тропченко А.А. Методы сжатия изображений, аудио сигналов и видео: Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.
5. Дж. Миано. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии. М: Издательство Триумф, 2003.-336 с.
6. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука –М.:Технсфера, 2004. -368с.
7. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. - 606 с.
8. Лидовский В.В. Теория информации: Учебное пособие - М: компания «Спутник+»,2004г – 111с
9. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М. : Сов. Радио, 1979. – 312с.
10. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. – М.: Мир, 1972. – 230с.
11. Зубарев Ю.Б., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. - Москва, 1997.
12. Прэт У.Цифровая обработка изображений. – Москва: Мир, 1982.
13. M.F. Barnsley, Fractals Everywhere. London: Academic Press Inc., 1988.

14. G.E. Qien, Z. Baharav, S. Lepsqy, E. Karnin. A new improved collage theorem with applications to multiresolution fractal image coding. InProc. ICASSP, 1994.
15. Saupe, D., Hamzaoui, R., Hartenstein, H., Fractal image compression – An introductory overview, in: Fractal Models for Image Synthesis, Compression and Analysis, D. Saupe, J. Hart (eds.), SIGGRAPH'96 Course Notes, ACM, New Orleans, Louisiana, Aug. 1996.
16. Клименко Л.А., Козелков О.А. Анализ методов сжатия цифрового изображения. – Системы обработки информации, выпуск 2, 2004 –С. 191-194
17. Нечепоренко О.В., Миценко С.А. Системный анализ и оценка методов сжатия данных для баз данных лазерных технологических комплексов. - Вісник Хмельницького національного університету, №1, 2014 – С. 94-99
18. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения. – М.: Гор.линия, 2001. – 223 с.
19. Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях. – Севастополь: Сев. ГТУ, 1997. – 175 с.
20. Брайс Р. Руководство по цифровому телевидению. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 288 с.
21. Королёв А.В., Петухов В.А. Метод кодирования видео информации цифровых цветных изображений // Радиотехника. – 1989. – № 91. – С. 71 – 76.
22. Сжатие данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие данных](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сжатие_данных).
23. Введение в цифровую обработку сигналов (Математические основы).- М.: МГУ, Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, 2002.
24. Черногорова Ю. В. Методы сжатия изображений // Молодой ученый. — 2016. — №11. — С. 239-241. — URL <https://moluch.ru/archive/115/30856/>

25. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка сигналов //М.: Техносфера. — 2005.
26. Смит С. Цифровая обработка сигналов. — М.: Додэка-XXI, 2008.
27. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов (1984 ориг.). — Мир, 1988.