

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інтелектуальних технологій

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА
НА ТЕМУ:**

Нейромережний застосунок колоризації зображень

Галузь знань **12 «Інформаційні технології»**

Спеціальність **122 «Комп'ютерні науки»**

Освітня програма **«Комп'ютерні науки»**

Освітній рівень: бакалавр

Виконала: студентка 4 курсу, групи КН- 41

Івахненко І. І.

(прізвище та ініціали)



Керівник Федусенко О.В.

(прізвище та ініціали)



кандидат технічних наук, доцент

(науковий ступінь, звання)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра допущена до захисту
рішенням кафедри *інтелектуальних технологій*
Протокол № 13 від 05.06.2023 р.
зав. кафедри _____ доц. Іларіонов О.Є.

Київ – 2023

Анотація

Івахненко Ірина Ігорівна виконала випускню кваліфікаційну роботу на тему «Нейромережний застосунок колоризації зображень» за спеціальністю 122 - «Комп'ютерні науки».

У випускній роботі було проведено аналітичний огляд літератури про колоризацію зображень. Досліджено існуючі інформаційні системи для цієї задачі. Сформульовано мету розробки нейромережного застосунку для колоризації зображень. Розроблено архітектуру застосунку та проведено функціональний аналіз системи за допомогою методології IDEF0. Описано використання згорткової нейронної мережі в застосунку. Вибрано необхідні інструментальні засоби для програмної реалізації та описано структуру програмного забезпечення. Надано керівництво користувача та проведено огляд процесу тестування застосунку.

Ключові слова: нейромережа, колоризація зображень, архітектура, згорткова мережа.

Summary

The degree project: «Neural network application of image colorization» has been completed by Ivakhnenko Iryna specialty 122 - «Computer Sciences».

In this graduation thesis, an analytical review of the literature was conducted to implement the colorization process. Existing information systems for this task were studied. The goal of developing a neural network application for image colorization was formulated. The architecture of the application is developed and a functional analysis of the system is carried out using the IDEF0 methodology. The use of a convolutional neural network in the application is described. The necessary tools for software implementation are selected and the software structure is described. The user manual is provided and the application testing process is reviewed.

Keywords: neural network, image colorization, architecture, convolutional network.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ	4
1.1 Аналітичний огляд літератури для реалізації процесу колоризації	4
1.2 Аналіз існуючих інформаційних систем, що реалізують процес колоризації зображення	6
1.3 Аналіз основних процесів колоризації відповідно до предметного середовища	10
1.4 Постановка задачі на розробку нейромережного застосунку колоризації зображення	14
1.5 Висновки до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ	17
2.1 Розробка архітектури нейромережного застосунку колоризації зображення	17
2.1.1 Функціональний аналіз системи колоризації зображення	17
2.1.2 Аналіз процесу колоризації зображення	18
2.1.3 Архітектура нейромережного застосунку процесу колоризації зображення	21
2.2 Обґрунтування використання згорткової нейронної мережі у нейромережному застосунку колоризації зображень	23
2.3 Розробка інформаційного забезпечення нейромережного застосунку колоризації зображень	25
2.4 Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ	30
3.1 Обґрунтування вибору інструментальних засобів для програмної реалізації нейромережного застосунку колоризації зображень	30
3.2 Структура програмного забезпечення для нейромережного застосунку колоризації зображень	31

3.3 Керівництво користувача для нейромережного застосунку колоризації зображень	36
3.4 Огляд процесу тестування нейромережного застосунку колоризації зображень	40
3.5 Висновки до розділу 3	47
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49
ДОДАТОК А	51
ДОДАТОК Б	53

ВСТУП

Актуальність дослідження полягає в тому, що колоризація зображення автоматично додає кольору до напівтонового або чорно-білого зображення без безпосередньої участі людини. Іншими словами, вона містить присвоєння кольору кожному пікселю на напівтоновому зображенні. У людській свідомості це легко сприймається, а ось для комп'ютера, це вже є задачею для навчання.

Об'єкт дослідження – підходи до колоризації зображення.

Предмет дослідження – згортова нейронна мережа для колоризації зображення.

Мета роботи є реалізація нейромережного застосунку колоризації зображення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз процесу колоризації зображень та дослідити існуючі підходи.
2. Провести аналіз існуючих інформаційних систем та обґрунтувати доцільність розробки власної системи.
3. Сформулювати функціональні та нефункціональні вимоги до модулю колоризації зображень.
4. Розробити архітектуру для процесу колоризації зображення.
5. Розробити структуру та обґрунтувати доцільність вибраного програмного забезпечення.
6. Проаналізувати результати тестових прикладів роботи нейромережного застосунку.

Практичне значення одержаних результатів – можливість колоризації чорно-білих зображень. Наприклад, фото, що були зроблені у роки, коли колоризовані зображення могли бачити лише люди, а не фотоплівки.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Аналітичний огляд літератури для реалізації процесу колоризації

Історичні чорно-білі зображення вважаються незамінними, з винятковою художньою цінністю. Однак, дивлячись на них, неможливо повною мірою уявити собі реальну картину, оскільки колір є дуже важливим компонентом візуальної репрезентації. Забарвлення чорно-білих зображень значно змінює перспективу глядача. Часовий розрив між минулим і сьогоденням зникає, роблячи сцену більш реальною. Однак, розуміння автентичних кольорів ранніх фотографій часто недоступне, що ускладнює задовільну реконструкцію. Тим не менш, метою колоризації є обдурити глядача, змусити його повірити в автентичність колоризованого зображення, а не точне відтворення кольору. Основними сферами застосування колоризації є відродження історичних чорно-білих зображень, реставрація кінофільмів та розфарбовування астрономічних фотографій.

Колоризація - це, по суті, процес отримання інформації про колір там, де вона відсутня. Технічно це складний процес присвоєння тривимірної колірної інформації RGB (червоний, зелений, синій) кожному пікселю з урахуванням інтенсивності напівтонового зображення у візуально прийнятний, правдоподібний спосіб. Для зменшення складності задачі в процесі колоризації використовується перетворення в зручний колірний простір "яскравість-хроматичність". YUV та CIELAB - це колірні простори, похідні від RGB. CIELAB - перцептивно однорідний колірний простір, отриманий з RGB шляхом нелінійних перетворень. Рівномірна зміна компонентів у CIELAB відповідає рівномірній зміні колірного сприйняття людини. З цієї причини спостереження двох різних кольорів в CIELAB можна апроксимувати евклідовою відстанню між відповідними точками в колірному просторі. YUV отримується з RGB шляхом лінійних перетворень [1] і не є однорідним для сприйняття. Як YUV, так і CIELAB відокремлюють компонент яскравості від інформації про колір, що

дозволяє використовувати інформацію про інтенсивність і полегшує прогнозування двох інших колірних каналів. Компонент Y в YUV представляє яскравість, в той час як U і V є компонентами кольоровості. У $CIELAB$ L - це компонент яскравості, тоді як компоненти a і b несуть інформацію про колір - a представляє вісь зеленій-червоний, а b - вісь синій-жовтий. Різні методи колоризації працюють з різними колірними просторами. Хоча деякі автори аналізують вплив різних колірних просторів на процес колоризації [2], багато хто вибирає зручний для себе і розвиває метод з обраним колірним простором [3, 4].

Колоризація зображень є складною проблемою через різні умови отримання зображень, які необхідно обробляти за допомогою єдиного алгоритму. Проблема також дуже погано поставлена, оскільки два з трьох вимірів зображення відсутні; хоча семантика сцени може бути корисною в багатьох випадках, наприклад, трава зазвичай зелена, хмари зазвичай білі, а небо блакитне. Однак, такі семантичні пріоритети є дуже рідкісними для багатьох штучних та природних об'єктів, наприклад, сорочок, автомобілів, квітів тощо [5].

Зі стрімким розвитком методів глибинного навчання з'явилися різноманітні моделі розпізнавання зображень і повідомляється про їхню найсучаснішу продуктивність на поточних наборах даних. Різноманітні моделі глибинного навчання, починаючи від ранніх мереж грубої сили до нещодавно ретельно розроблених генеративних змагальних мереж (GAN) (наприклад, [6]), були успішно використані для вирішення проблеми колоризації. Ці мережі розфарбовування відрізняються за багатьма основними параметрами, включаючи архітектуру мережі, глибину мережі, функції втрат, стратегії навчання тощо.

Постановка проблеми: Метою колоризації є оцінка кольорів RGB напівтонового зображення, яке зазвичай знімалося кольоровими камерами до того, як кольорові камери стали широко доступними, а технологічний прогрес був обмеженим. Отже, цей процес є скоріше формою покращення зображення, ніж його відновлення. Іншим застосуванням колоризації зображень є відновлення кольорових зображень після їх перетворення у відтінки сірого або

Y-канал кольорового простору YUV, наприклад, для економії місця на носіях інформації або пропускну́ї здатності каналу зв'язку. Тому в даному випадку тривіальна формула може бути записана як формула (1.1):

$$I_g = \Phi(I_{rgb}), \quad (1.1)$$

де $\Phi(-)$ - функція, яка перетворює RGB зображення в зображення у відтінках сірого, наприклад, формула (1.2):

$$I_g = 0.2989 \cdot I_r + 0.5870 \cdot I_g + 0.1140 \cdot I_b \quad (1.2)$$

Як правило, методи колоризації спрямовані на відновлення кольору в просторі YUV, де модель повинна прогнозувати тільки два канали, тобто U і V - замість трьох каналів в RGB [7].

1.2 Аналіз існуючих інформаційних систем, що реалізують процес колоризації зображення

Порівняємо існуючі інформаційні системи: Cutout.pro, Img2Go, MyHeritage, PicWish.

Cutout.pro Photo Colorizer Black and White - це онлайн-інструмент для перетворення чорно-білих фотографій у кольорові зображення. Він використовує передовий алгоритм на основі нейронних мереж для розфарбовування фотографій і пропонує ряд інструментів для редагування, щоб налаштувати результат. Крім того, користувачі можуть завантажувати власні зображення для розфарбовування. Інструмент є безкоштовним у використанні, хоча Cutout.pro пропонує преміум-функції та послуги за окрему плату [8].

Img2Go - це онлайн-інструмент, який дозволяє легко розфарбовувати зображення. Він використовує передові алгоритми штучного інтелекту для автоматичного розфарбовування фотографій і зображень, незалежно від якості вихідного матеріалу. Він працює як з чорно-білими, так і з кольоровими зображеннями, і результати часто бувають напрочуд точними. Інструмент

розроблений так, щоб бути зручним для користувача, і вимагає лише кількох кліків, щоб почати роботу. Він також сумісний з усіма основними форматами зображень, що робить його дуже універсальним. Крім того, Img2Go дає користувачам можливість налаштувати результати, наприклад, відрегулювати яскравість, контрастність, відтінок і насиченість. Нарешті, користувачі можуть зберегти результати у різних форматах, включаючи JPG, PNG і GIF [9].

MyHeritage InColor - це інструмент на основі штучного інтелекту, який може розфарбувати старі чорно-білі фотографії всього за кілька кліків. Він використовує передові технології для автоматичного розпізнавання контурів облич, зіставлення кольорів зі схожих фотографій і створення красивої кольорової версії оригіналу. Результати можуть бути приголомшливими і оживляти старі спогади. MyHeritage InColor може розфарбовувати окремі фотографії або цілі альбоми. Результати можна зберегти на комп'ютері, поділитися ними в соціальних мережах, роздрукувати або навіть вставити в рамку. Ви також можете налаштувати колористику, щоб створити тепліший або холодніший тон. Технологія базується на штучному інтелекті та алгоритмах глибокого навчання, які дозволяють розфарбовувати кожен тип фотографій. Вона безкоштовна у використанні і не потребує завантаження жодного програмного забезпечення [10].

Picwish - це онлайн-колоризатор фотографій, який допоможе вам швидко і легко розфарбувати чорно-білі фотографії. Він неймовірно простий у використанні, всього за кілька кліків ви можете застосувати різні колірні схеми до своїх фотографій. Ви також можете регулювати інтенсивність кольорів і застосовувати унікальні ефекти. Picwish здатен швидко визначати основні візерунки та об'єкти на ваших фотографіях і застосовувати до них правильні кольори. Він підтримує широкий спектр форматів зображень, включаючи PNG і JPG. Ви також можете зберегти результати на комп'ютері та поділитися ними з друзями через соціальні мережі. За допомогою Picwish ви можете повернути цифрові спогади до життя і відкрити для себе улюблені старі фотографії в новому світлі [11].

Проведемо аналіз існуючих систем за такими критеріями (табл. 1.1):

1. Колоризація зображення. Є обов'язковим пунктом в інформаційних системах, що відповідають за колоризацію зображення.
2. Покращення якості зображення. Якісні фото не є перевагою сьогодення, тому це є гарною функцією для заохочення більшої кількості користувачів.
3. Реставрація старих фотографій. Видаляти подряпини, покращувати кольори та покращувати обличчя, перетворюючи пошкоджені фотографії на заповітні спогади.
4. Попередні налаштування. Дає більшу різноманітність для процесу колоризації.
5. Наявність безкоштовного доступу. Багато сайтів для розфарбовування зображень пропонують безкоштовний доступ до базових послуг і стягують плату за більш просунуті функції. Це дозволяє користувачам спробувати послуги, перш ніж перейти на платний план, а також допомагає сайту отримати додатковий дохід, щоб покрити витрати і продовжувати надавати послуги.
6. Попередній перегляд. Використовується для того, щоб допомогти користувачам вирішити, чи потрібно вибрати інші налаштування для більш якісного вихідного зображення.

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз існуючих рішень

	Cutout.pro	Img2Go	MyHeritage	PicWish
Колоризація зображення	+	+	+	+
Покращення якості зображення	+	+	-	-

Продовження таблиці 1.1

Реставрація старих фотографій	+	-	-	-
Попередні налаштування	+	+	-	-
Наявність безкоштовного доступу	+	+	-	+
Попередній перегляд	+	-	+	+

Порівнявши можливості цих чотирьох інформаційних систем, стає зрозуміло, що кожен з них пропонує щось унікальне з точки зору розфарбовування зображень. Cutout.pro пропонує цілий ряд інструментів для редагування, в тому числі колорайзер, а також можливість змінювати фон зображень. Img2go - це безкоштовний онлайн-колоризатор з простим та інтуїтивно зрозумілим дизайном. MyHeritage пропонує інструмент колоризації, який дозволяє покращити чорно-білі фотографії. Нарешті, Picwish пропонує розмальовку для фотографій з широким спектром світлих і темних відтінків. Кожен веб-сайт має свої сильні сторони, тому найкращий варіант залежить від потреб користувача.

Отже, як ми бачимо з проведеного порівняльного аналізу, актуальним та доцільним буде створити особистий обліковий запис на сайті для розфарбовування зображень, щоб допомогти відстежувати всі ваші проекти. Таким чином, у вас буде запис про те, що ви створили, і ви зможете легко отримати до нього доступ за потреби.

1.3 Аналіз основних процесів колоризації відповідно до предметного середовища

Розфарбування зображень - це метод глибокого навчання, який використовує штучні нейронні мережі для автоматичного розфарбовування вхідного зображення у відтінках сірого у природні кольори. Це відбувається шляхом вивчення відповідності між інтенсивністю рівня сірого вхідного зображення та значеннями RGB вихідного зображення.

Процес розфарбовування зображень складається з чотирьох основних етапів:

Попередня обробка зображення: Колоризації зображень за допомогою нейронної мережі зазвичай передбачає перетворення зображення з кольорового простору RGB (червоний, зелений і синій) у кольорний простір Lab (яскравість, A і B). Кольорний простір Lab використовується тому, що він краще зберігає інформацію про колір, ніж кольорний простір RGB. Потім зображення розбивається на невеликі фрагменти, і з кожного фрагмента виділяється компонент світлості (L-канал). Ці виділені ділянки використовуються як вхідні дані для нейронної мережі, яка створює кольорове зображення з вищою роздільною здатністю на основі виділеного L-каналу. Вихід нейронної мережі додається до вихідних зображень для отримання остаточних кольорових зображень.

Виділення ознак: Вибір ознак є важливою частиною процесу розфарбовування зображень. Зазвичай для цього використовують згорткові нейронні мережі (CNN), які навчені розпізнавати певні атрибути зображення, такі як форма, колір і текстура. Він передбачає вилучення найбільш релевантних ознак із вхідного зображення і використання їх для точного розфарбовування зображення. Виділення ознак відбувається за допомогою згорткових нейронних мереж, які ідентифікують і виділяють важливі ознаки із зображення. Це допомагає CNN краще розуміти об'єкти і кольори на зображенні, що робить процес розфарбовування більш точним і акуратним. Процес виділення ознак

також використовується для зменшення кількості інформації, яку має обробити CNN, що допомагає пришвидшити процес колоризації.

Розфарбування: На цьому кроці витягнуті ознаки використовуються для розфарбовування зображення. Це відбувається шляхом зіставлення вхідного зображення з базою даних розфарбованих зображень. База даних використовується для визначення кольорів пікселів вхідного зображення.

Пост-обробка: Даний етап передбачає персоналізацію результатів нейромережі для того, щоб зробити розфарбування більш реалістичним. Це можна зробити за допомогою налаштування значень кольорів, яскравості, контрастності та насиченості зображення, а також накладанням розфарбованого зображення на вихідне чорно-біле зображення. Постобробка також допомагає в подальшому згладжуванні зображення та усуненні артефактів, які могли бути створені нейронною мережею.

Розглянемо контекстну діаграму процесу колоризації представлену на рисунку 1.1.

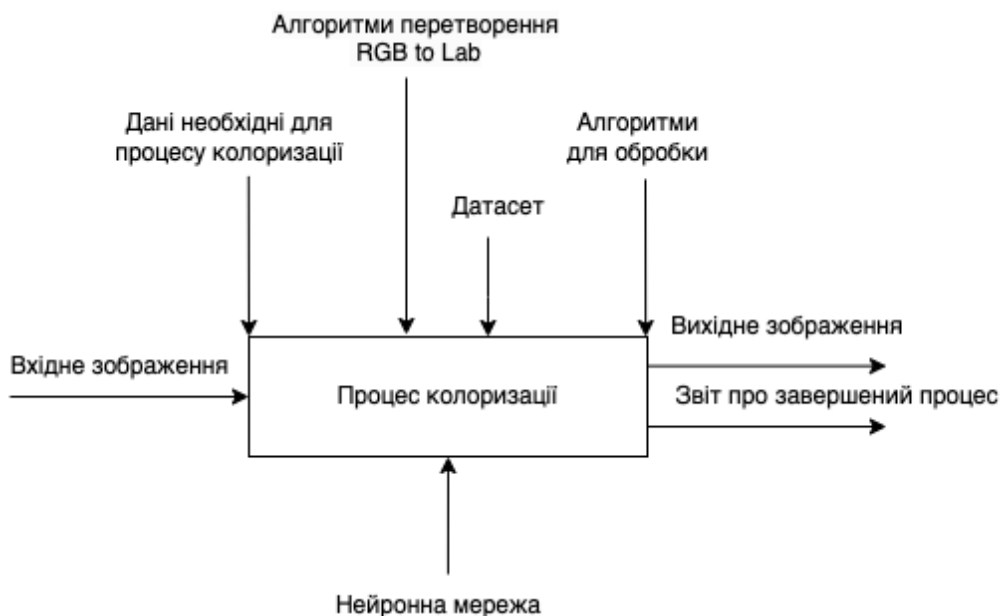


Рисунок 1.1 - Контекстна діаграма процесу колоризації зображення

Дана модель представлена для опису процесу колоризації.

Мета – створити діаграму, що відображатиме основні операції процесу колоризації.

Точка зору – розробник системи.

Розглянемо основні кордони досліджень:

1. Територіальні кордони – обстеження проводиться на сайті, що займається колоризацією зображень.

2. Часові кордони – період обстеження, в нашому випадку - щоденно.

3. Функціональні кордони. Для цього виділимо основні функції процесу «Процес колоризації»:

- Попередня обробка;
- Виділення ознак;
- Розфарбування;
- Пост-обробка.

Опис зв'язків контекстної діаграми ЯК Є представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Опис зв'язків контекстної діаграми ЯК Є

Назва	Тип	Зовнішній об'єкт
Вхідне зображення	Вхідна інформація	Користувач
Вихідне зображення	Вихідна інформація	Користувач
Звіт про завершений процес	Вихідна інформація	Система

Зображення процесу декомпозиції контекстної діаграми зображено на рисунку 1.2.

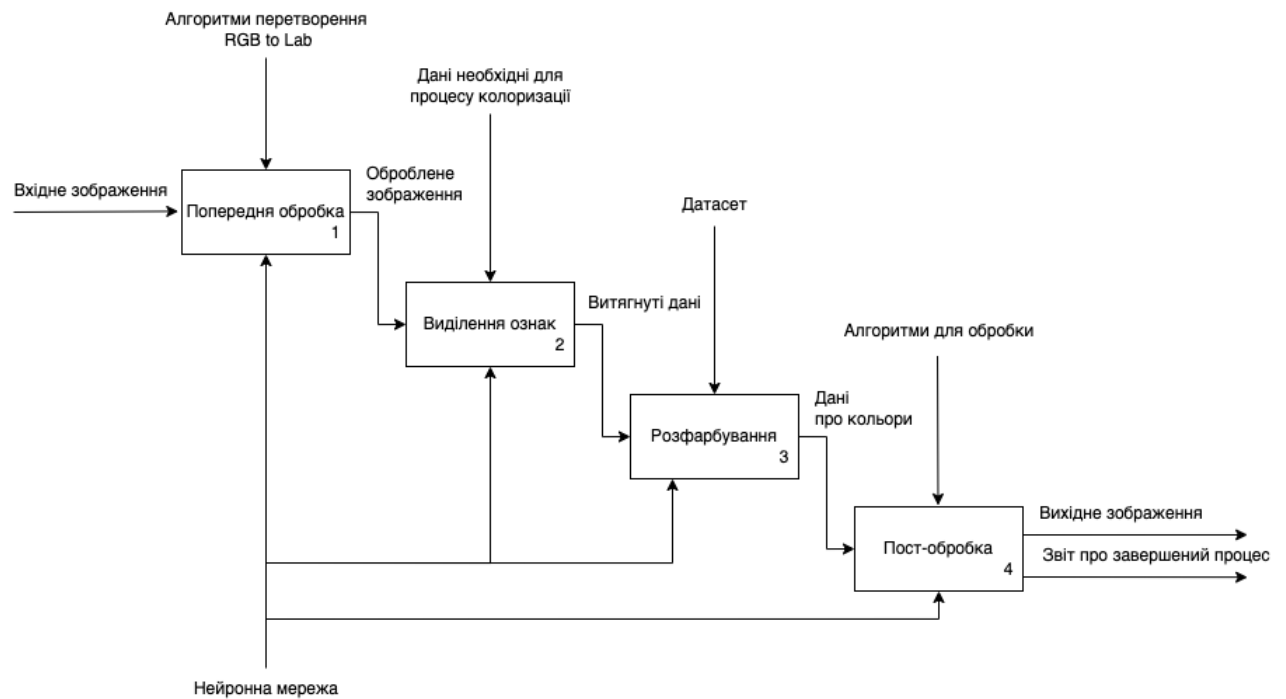


Рисунок 1.2 - Декомпозиція контекстної діаграми процесу колоризації зображення

Даний бізнес процес складається з наступних бізнес підпроцесів:

1. Попередня обробка

Вхідна інформація:

- Вхідне зображення

Вихідна інформація:

- Оброблене зображення

2. Виділення ознак:

Вхідна інформація:

- Оброблене зображення

Вихідна інформація:

- Витягнуті дані

3. Розфарбування:

Вхідна інформація:

- Витягнуті дані

Вихідна інформація:

- Дані про кольори

4. Пост-обробка:

Вхідна інформація:

- Дані про кольори

Вихідна інформація:

- Вихідне зображення

- Звіт про завершений процес

1.4 Постановка задачі на розробку нейромережного застосунку колоризації зображення

Функціональні вимоги:

Нейромережний застосунок має:

1. Дозволяти користувачам завантажувати файли зображень та переглядати автоматично згенеровану кольорову версію зображення.

2. Вміти визначати домінуючі кольори на зображенні та генерувати кольорову палітру відповідно до них.

3. Дозволяти користувачам вибирати бажану кольорову палітру для вихідного зображення.

4. Мати можливість регулювати відтінок і яскравість вихідного зображення відповідно до обраної палітри кольорів.

5. Дозволяти користувачам зберігати розфарбоване зображення у різних форматах.

6. Дозволяти користувачам експортувати звіт про розфарбоване зображення разом з оригінальним зображенням.

7. Забезпечувати попередній перегляд розфарбованого зображення перед збереженням або експортом.

8. Дозволяти користувачеві регулювати насиченість вихідного зображення.

9. Дозволяти користувачеві регулювати різкість вихідного зображення.
10. Дозволяти користувачеві регулювати контрастність вихідного зображення.
11. Надавати можливість додавання тексту та графіки до вихідного зображення.
12. Мати можливість працювати з різними форматами файлів зображень.
13. Вміти обробляти зображення з високою роздільною здатністю.
14. Надавати можливість скасовувати зміни та відмінити розфарбовування.
15. Дозволяти користувачеві вибирати декілька зображень для розфарбовування.
16. Система повинна вміти визначати вже існуючі кольори на зображенні.
17. Система повинна дозволяти користувачеві ділитися розфарбованими зображеннями з іншими користувачами.

Нефункціональні вимоги:

1. Система повинна бути сумісною з усіма основними веб-браузерами.
2. Користувач повинен мати можливість завантажувати зображення для розфарбовування.
4. Користувач повинен мати можливість вибирати з широкого спектру кольорів.
5. Система повинна забезпечувати надійну аутентифікацію та контроль доступу.
6. Система повинна підтримувати автоматичне резервне копіювання кольорових зображень.
7. Система повинна бути доступна на мобільних пристроях.
8. Система повинна забезпечувати доступність 24/7.
9. Система повинна відповідати всім відповідним правилам конфіденційності та безпеки.
10. Система повинна надавати детальні звіти про діяльність з розфарбовування.

1.5 Висновки до розділу 1

Після проведеного аналізу поставленої задачі можна зробити висновок про її актуальність оскільки це покращує якість цифрових зображень і робить їх більш реалістичними. Це також дозволяє більш точно відображати зображення, що може бути корисним для різних застосувань. Крім того, її можна використовувати для збереження старих фотографій і фільмів, даючи їм нове життя, що дозволяє ширше ними ділитися і насолоджуватися. Розфарбовування зображень дає змогу точніше аналізувати зображення і його вміст, що може бути використано для різних дослідницьких цілей.

В наш час існують різні інформаційні системи для вирішення даної проблеми, кожна з них має власний спектр корисних функцій. В подальшій реалізації власної системи буде створено можливість для користувачу особитого кабінету. Дана функція дасть змогу легко переглянути проекти, що були створені та додати новий у разі необхідності.

В основному, процес розфарбовування зображень за допомогою нейронних мереж складається з кількох кроків. Спочатку зображення розділяється на кольорові компоненти та компоненти у відтінках сірого. Потім нейронна мережа навчається на великій базі даних кольорових зображень, щоб навчитися розпізнавати різні кольори зображень. Після того, як нейронна мережа навчена, її можна використовувати для розфарбовування зображення у відтінках сірого. Нейронна мережа ідентифікує кольори компонентів у відтінках сірого, а потім використовує свої знання для заміни компонентів у відтінках сірого на їхні відповідні кольори. І нарешті, ми можемо побачити результат роботи мережі вивівши колоризоване зображення.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1 Розробка архітектури нейромережного застосунку колоризації зображення

2.1.1 Функціональний аналіз системи колоризації зображення

Процес колоризації зображення можна розбити на кілька етапів:

1. Завантаження зображення: на цьому етапі користувач обирає зображення, яке потрібно колоризувати, та завантажує його в програму.

2. Налаштування початкових параметрів: користувач вибирає кольорову палітру та розмір зображення.

3. Попередня обробка зображення: на цьому етапі зображення піддається попередній обробці, яка включає зміну розміру зображення, перетворення зображення з RGB в простір кольорів Lab та нормалізацію даних.

4. Виділення ознак: на цьому етапі зображення обробляється з використанням алгоритмів комп'ютерного зору для виділення ознак, які використовуються для колоризації.

5. Колоризація: на цьому етапі кольори додаються до зображення з використанням навченої штучної мережі.

6. Пост-обробка: на цьому етапі зображення може бути додатково оброблене для поліпшення його якості. Це може включати налаштування контрастності, яскравості, насиченості, різкості та додавання тексту та графіки.

7. Отримання вихідного зображення: на цьому етапі користувач отримує колоризоване зображення. Зображення може бути збережено або поширено в соціальних мережах.

Карту процесів представлено на рисунку 2.1.

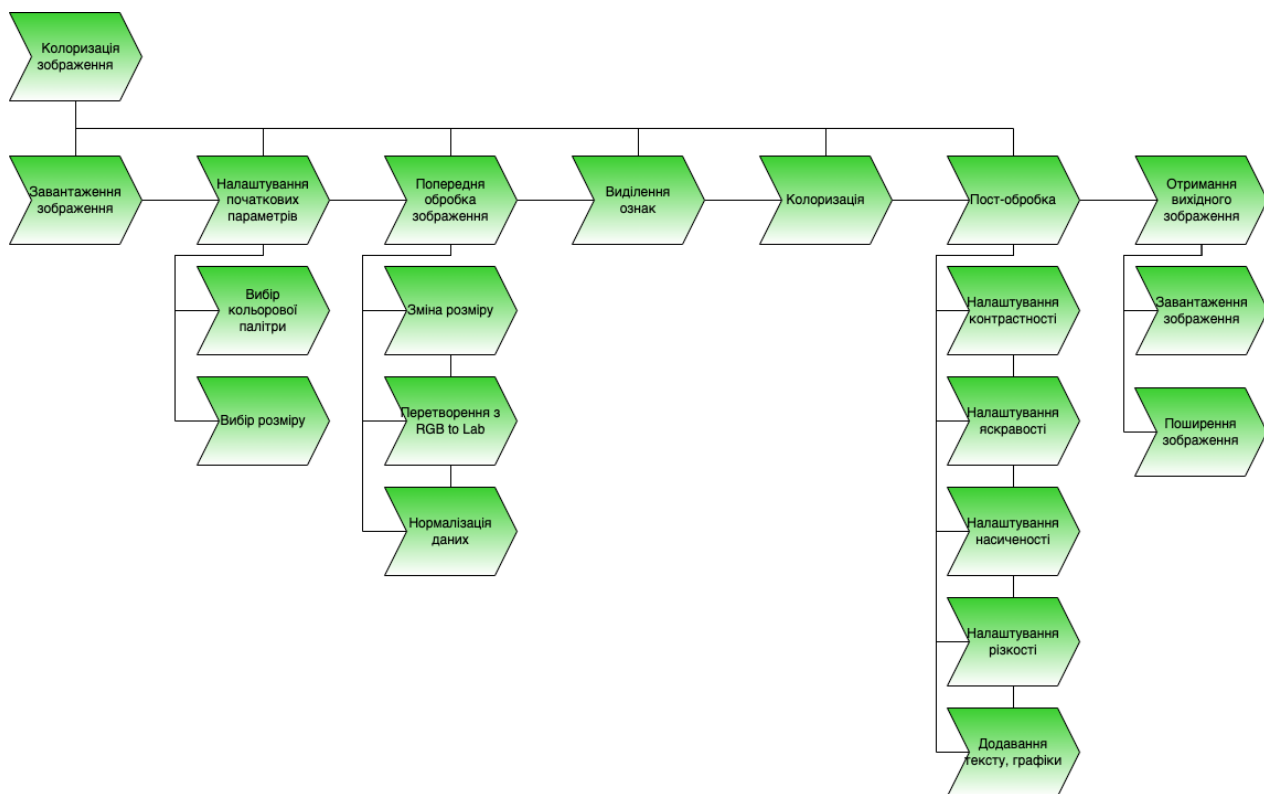


Рисунок 2.1 - Карта процесів ІС для колоризації зображень

2.1.2 Аналіз процесу колоризації зображення

Для аналізу процесу колоризації зображень побудуємо діаграму у нотації IDEF0. Контекстна діаграма ЯК БУДЕ процесу колоризації зображення представлена на рисунку 2.2. Діаграма декомпозиції ЯК БУДЕ контекстної діаграми представлена на рисунку 2.3. Опис зв'язків контекстної діаграми ЯК БУДЕ представлено в таблиці 2.1.

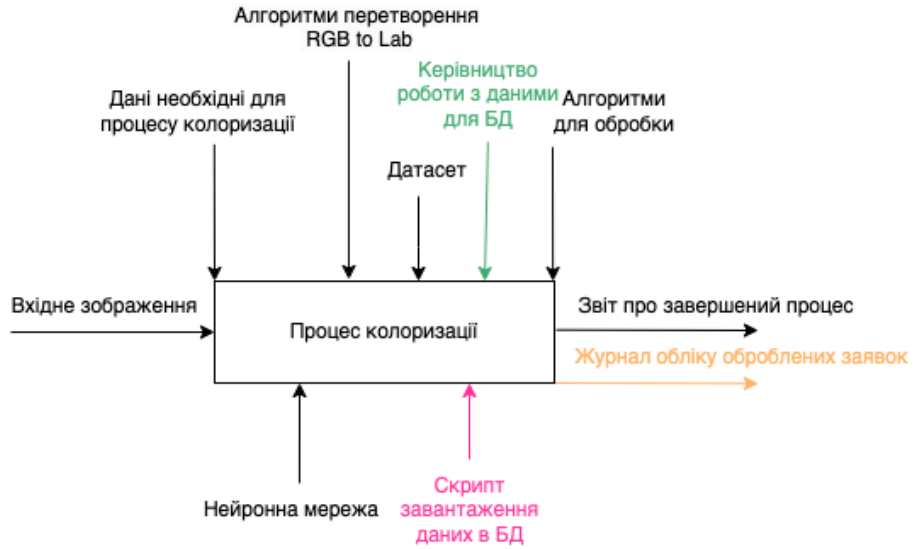


Рисунок 2.2 - Контекстна діаграма ЯК БУДЕ процесу колоризації зображення

Таблиця 2.1 - Опис зв'язків контекстної діаграми ЯК БУДЕ

Назва	Тип	Зовнішній об'єкт
Вхідне зображення	Вхідна інформація	Користувач
Звіт про завершений процес	Вихідна інформація	Система
Журнал обліку оброблених заявок	Вихідна інформація	Менеджер

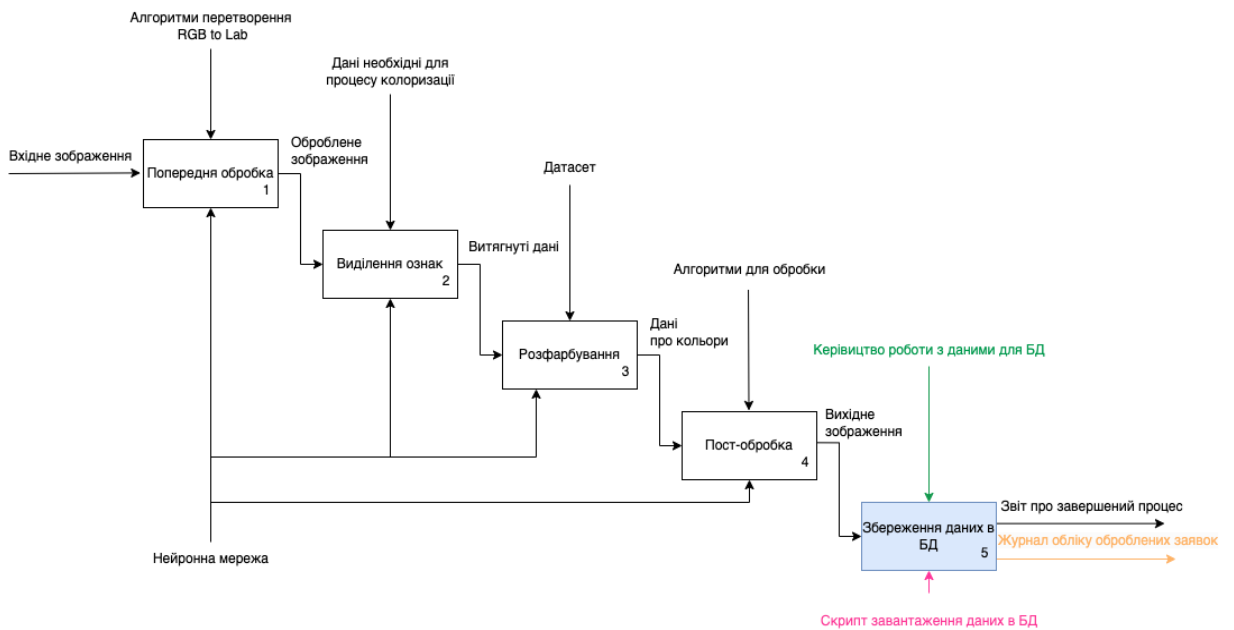


Рисунок 2.3 - Декомпозиція ЯК БУДЕ контекстної діаграми процесу колоризації зображення

Даний бізнес процес складається з наступних бізнес підпроцесів:

1. Попередня обробка

Вхідна інформація:

- Вхідне зображення

Вихідна інформація:

- Оброблене зображення

2. Виділення ознак:

Вхідна інформація:

- Оброблене зображення

Вихідна інформація:

- Витягнуті дані

3. Розфарбування:

Вхідна інформація:

- Витягнуті дані

Вихідна інформація:

- Дані про кольори

4. Пост-обробка:

Вхідна інформація:

- Дані про кольори

Вихідна інформація:

- Вихідне зображення

5. Збереження даних в БД

Вхідна інформація:

- Вихідне зображення

Вихідна інформація:

- Звіт про завершений процес

- Журнал обліку оброблених заявок

2.1.3 Архітектура нейромережного застосунку процесу колоризації зображення

Архітектура НЗ "Колоризація зображення" складається з головної сторінки, підсистеми роботи з зображеннями та особистого кабінету користувача, що взаємодіють з базою даних. Дана архітектура представлена на рисунку 2.4.

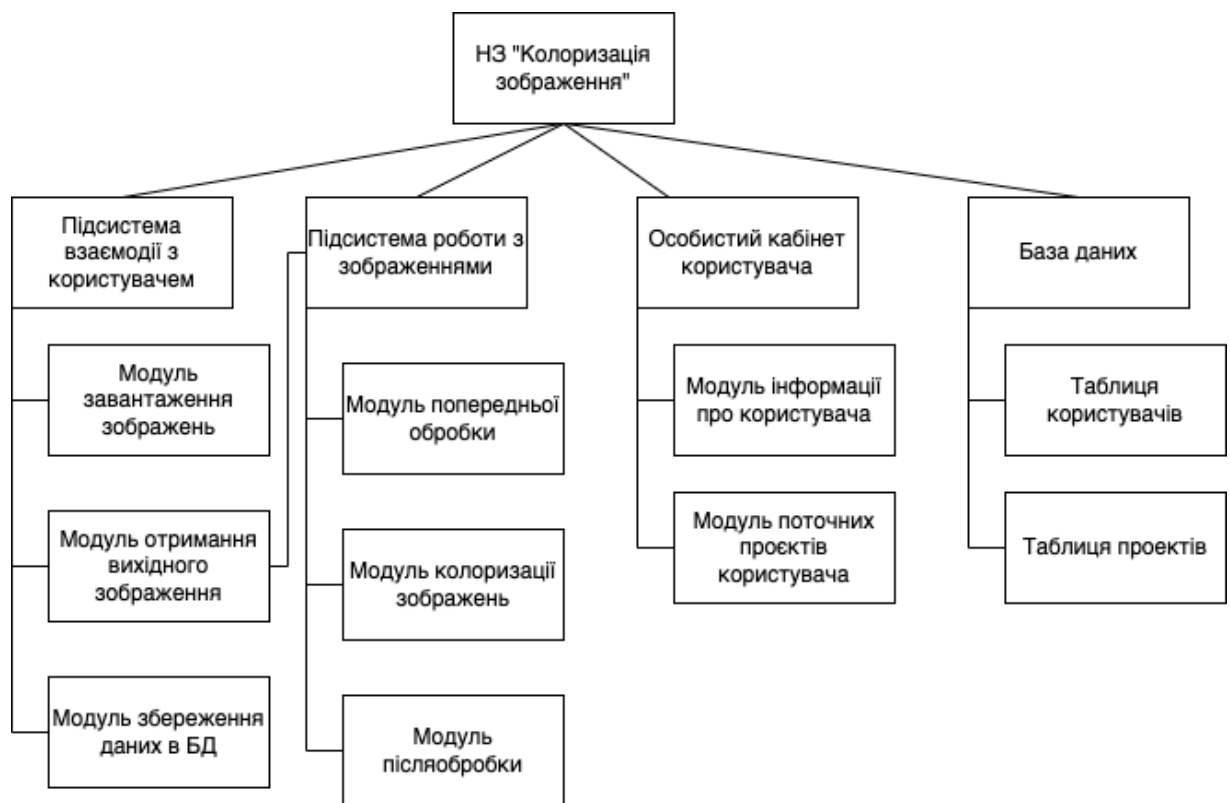


Рисунок 2.4 - Архітектура НЗ "Колоризація зображення"

Підсистема взаємодії з користувачем - це основна сторінка системи, яка містить модуль завантаження зображень, модуль отримання вихідного зображення та модуль збереження даних в базу даних. Модуль завантаження зображень дозволяє користувачеві завантажувати зображення в систему, після чого вони зберігаються на сервері та стають доступними для подальшої обробки. Модуль отримання вихідного зображення дозволяє користувачеві отримати оброблене зображення, яке можна зберегти на сервері або завантажити. Модуль збереження даних в базу даних забезпечує збереження даних, які створюються та використовуються в системі.

Підсистема роботи з зображеннями складається з модуля попередньої обробки, модуля колоризації зображень та модуля післяобробки. Модуль попередньої обробки виконує попередню обробку зображення, що може включати різні етапи обробки, наприклад, зменшення розміру зображення, вирівнювання кольорів та ін. Модуль колоризації зображень виконує основну функцію системи, а саме - колоризацію зображення за допомогою різних алгоритмів, таких як глибокі нейронні мережі або інші. Модуль післяобробки виконує додаткову обробку зображення, наприклад, підвищення якості, чіткості та ін.

Особистий кабінет користувача містить модуль інформації про користувача та модуль поточних проектів користувача, які з'єднуються з базою даних. Модуль інформації про користувача містить основну інформацію про користувача, наприклад, ім'я, прізвище, електронну адресу та інші дані, які він надав при реєстрації. Цей модуль також забезпечує можливість зміни та оновлення даних користувача.

Модуль поточних проектів користувача відображає всі проекти, над якими працює користувач, або які він створив раніше. Цей модуль дозволяє користувачеві переглядати та редагувати свої проекти, завантажувати нові зображення, а також зберігати та видаляти проекти з бази даних.

База даних є центральним елементом системи та забезпечує збереження всіх даних, які створюються та використовуються в системі, включаючи зображення, інформацію про користувачів та їх проекти. З'єднання з базою даних забезпечує можливість зберігати, витягувати та оновлювати дані, які використовуються в системі.

2.2 Обґрунтування використання згорткової нейронної мережі у нейромережному застосунку колоризації зображень

Згорткові нейронні мережі (CNNs або ConvNETs) - це алгоритми глибокого навчання, які обробляють зображення, присвоюють важливість об'єктам на зображенні, використовуючи ваги та упередження, що навчаються, і можуть диференціювати зображення один від одного.

Згорткова нейронна мережа - це, по суті, нейронна мережа, яка використовує шар згортки і шар об'єднання. Згортковий шар згортається в меншу область для вилучення ознак, в той час як шар об'єднання вибирає дані з найбільшим значенням в межах області. Вони вимагають меншої попередньої обробки в порівнянні з іншими алгоритмами класифікації і здатні навчатися фільтрам і характеристикам [12].

Архітектура згорткових нейронних мереж була заснована на організації зорової кори головного мозку. Вони використовують комп'ютерний зір, обробку природної мови та рекомендаційні системи для виконання генеративних та описових завдань.

Згорткові нейронні мережі мають декілька шарів (рис. 2.5).

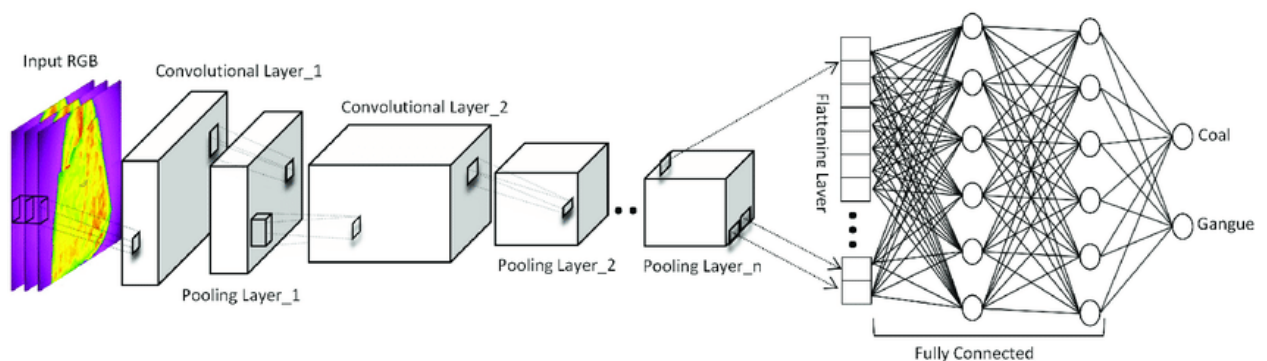


Рисунок 2.5 - Узагальнена будова моделі CNN

Перший шар - це згортковий шар. Це основа системи і виконує більшу частину обчислювальної роботи. Він використовує фільтри для згортання даних. Бере поелементний добуток фільтрів на зображенні і продовжує додавати значення для кожної дії ковзання. Цей фільтр також можна назвати нейроном або ядром.

Наступний шар - це шар активації. Цей шар застосовує випрямлений лінійний блок для збільшення нелінійності в ConvNET.

Після цього шар об'єднання (Pooling Layer) фокусується на зменшенні вибірки ознак. Зазвичай в шарі об'єднання присутні гіперпараметри. Він зменшує просторовий розмір представлення, що призводить до зменшення необхідного обсягу обчислень і вагових коефіцієнтів шляхом заміни вихідних даних CNN в конкретних місцях шляхом виведення зведеної статистики сусідніх вихідних даних.

Наступний шар - це шар повного з'єднання. Цей шар фокусується на вирівнюванні, тобто перетворенні матриці об'єднаної карти ознак в один стовпчик, який потім обробляє нейронна мережа.

Цей шар допомагає відобразити представлення між входом і виходом [13].

Найбільш суттєві переваги згорткових нейронних мереж (CNN):

- CNN не потребують нагляду людини для виконання завдання ідентифікації важливих ознак.
- Вони дуже точні при розпізнаванні і класифікації зображень.
- Розподіл вагів є ще однією важливою перевагою CNN.
- Згорткові нейронні мережі також мінімізують обчислення в порівнянні зі звичайною нейронною мережею.
- CNN використовують однакові знання для всіх ділянок зображення.

Деякі з недоліків згорткових нейронних мереж: включають в себе той факт, що для ефективної роботи CNN потрібно багато навчальних даних, і що вони не здатні кодувати положення і орієнтацію об'єктів.

- Вони не здатні кодувати положення і орієнтацію об'єктів. Їм важко класифікувати зображення з різним положенням у мережі.
- Для того, щоб CNN була ефективною, потрібно багато навчальних даних.
- CNN, як правило, набагато повільніші через такі операції, як maxpool.
- Якщо згорткова нейронна мережа складається з декількох шарів, процес навчання може зайняти особливо багато часу, якщо комп'ютер не має хорошого графічного процесора.

- Згорткові нейронні мережі розпізнають зображення як кластери пікселів, які розташовані за певною схемою. Вони не розуміють їх як компоненти, присутні на зображенні.

Найбільша відмінність між згортковими нейронними мережами та іншими глибинними нейронними мережами полягає в тому, що оскільки в CNN використовуються ієрархічні операції згортання на основі патчів, обчислювальні витрати зменшуються, а зображення абстрагуються на різних рівнях характеристик.

CNN може бути корисною для зменшення кількості параметрів, які потрібно тренувати, без шкоди для продуктивності [14].

2.3 Розробка інформаційного забезпечення нейромережного застосунку колоризації зображень

На етапі розробки бази даних необхідно виконати аналіз предметної області, тобто визначити об'єкти предметної області та зв'язки між цими об'єктами. Опишемо предметну область, яка буде використовуватись у додатку.

В даній БД ми маємо дві сутності: "Користувач" та "Зображення". Користувачі можуть мати багато зображень, але кожне зображення належить тільки одному користувачеві. Отже, відношення між цими сутностями - "Один-до-багатьох".

Кожне зображення має унікальний ідентифікатор "id", та два поля з шляхами до відповідних зображень - "photo_before" (оригінальне зображення) та "photo_after" (кольоризоване зображення). Крім того, ми зберігаємо дату створення зображення "time_create".

У сутності "Користувач" ми також маємо унікальний ідентифікатор "id", а також поля з паролем користувача "password", ім'ям користувача "username", адресою електронної пошти "email" та датою реєстрації "date_joined".

Таким чином, концептуальна модель містить дві сутності з відношенням "Один-до-багатьох" між ними. Відображення концептуальної моделі зображено

на рисунку 2.6. Склад та характеристики атрибутів таблиць логічної моделі представлено в таблиці 2.2.

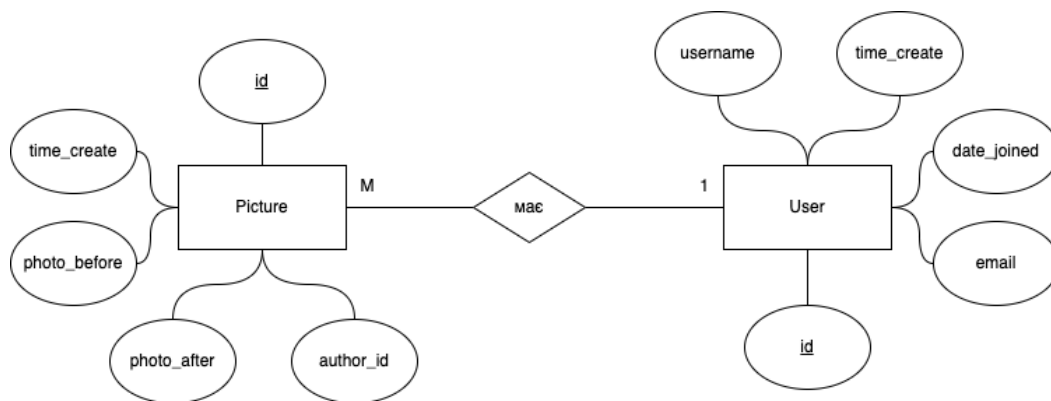


Рисунок 2.6 - Концептуальна модель для нейромережного застосунку колоризації зображень

Таблиця 2.2 - Склад та характеристики атрибутів таблиць логічної моделі

Назва атрибуту	Опис атрибуту	Ключ	Обов'язкове значення	Тип даних	Обмеження
1	2	3	4	5	6
Таблиця Picture - «Зображення»					
id	Ключ зображення	ПК	Так	Ціле число	Від 1 і більше
photo_before	Оригінальне зображення		Так	Текст	До 100 символів
photo_after	Колоризоване зображення		Так	Текст	До 100 символів
time_create	Дата створення зображення		Так	Дата	

Продовження таблиці 2.2

author_id	Ключ користувача	ЗК		Ціле число	Від 1 і більше
Таблиця User - «Користувач»					
id	Ключ	ПК	Так	Ціле	Від 1 і

	користувача			число	більше
password	Пароль		Так	Текст	До 128 символів
username	Ім'я користувача		Так	Текст	До 150 символів
email	Пошта		Так	Текст	До 254 символів
date_joined	Дата реєстрації		Так	Дата	

На наступному кроці побудуємо саму логічну модель із використання опису наведеного у таблиці 2.2. Для побудови моделі використаємо безплатний графічний інструмент Oracle SQL Developer Data Modeler. На цьому етапі визначимо усі типи даних, обов'язкові/необов'язкові поля та первинні ключі. Результат побудови моделі наведено на рис. 2.7.

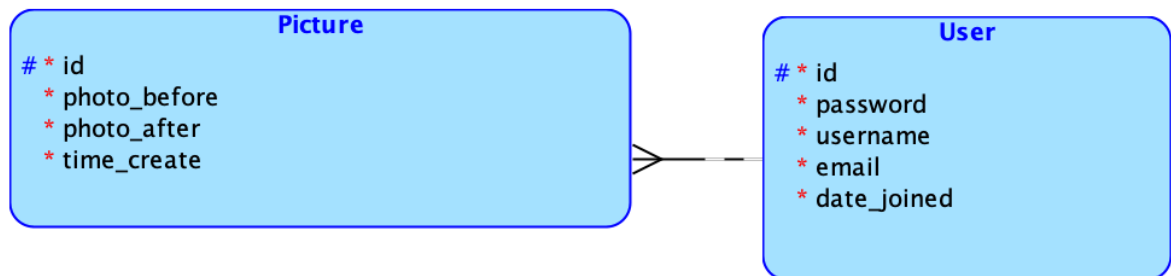


Рисунок 2.7 - Логічна модель для нейромережного застосунку колоризації зображень

Використаємо результат побудови логічної моделі та перейдемо до фізичної. На цьому етапі визначимо зовнішні ключі. Результат побудови моделі наведено на рис. 2.8.

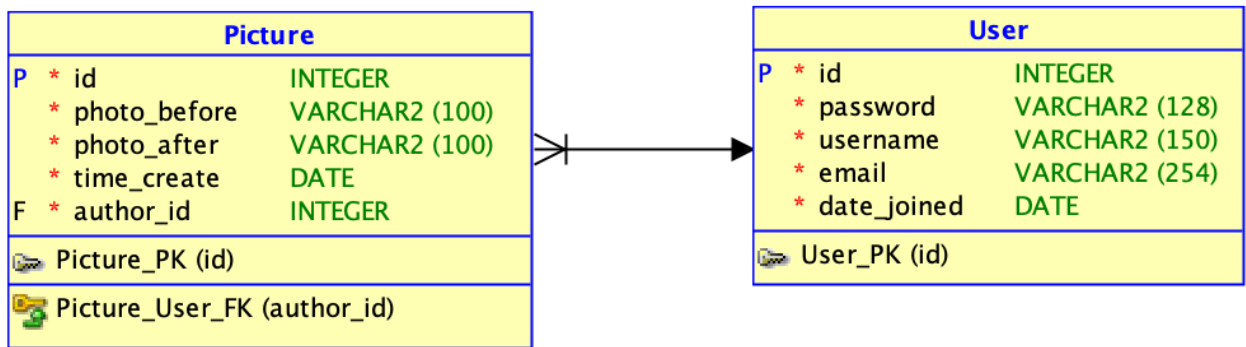


Рисунок 2.8 - Фізична модель для нейромережного застосунку колоризації зображень

2.4 Висновки до розділу 2

У розділі 2 дипломної роботи була проведена розробка архітектури для нейромережного застосунку колоризації зображень, що включала функціональний аналіз даної системи, розробку IDEF0-діаграми процесу колоризації зображень, обґрунтування використання згорткової нейронної мережі у даній системі, а також розробку інформаційного забезпечення, що включає розробку концептуальної, фізичної та логічної баз даних.

Проведена комплексна розробка архітектури нейромережного застосунку колоризації зображень є важливим етапом для подальшої реалізації даної системи. Здійснений функціональний аналіз дозволяє розглянути процес колоризації зображень з різних сторін та зрозуміти його складність. Розроблена IDEF0-діаграма процесу колоризації зображень відобразила основні етапи роботи системи. Архітектура нейромережного застосунку є необхідною для створення потужної та ефективної системи колоризації зображень, яка забезпечує зручний та безпечний доступ до даних користувачів, а також забезпечує якісну обробку зображень. Обґрунтування використання згорткової нейронної мережі у даній системі було проведено на основі визначення її ефективності в розв'язанні поставленої задачі. Розробка інформаційного забезпечення у даній системі, що включає розробку концептуальної, фізичної та

логічної баз даних, забезпечила відповідне функціонування системи. Враховуючи вищесказане, можна зробити висновок про успішну реалізацію розробки архітектури нейромережного застосунку колоризації зображень в рамках даного розділу дипломної роботи.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування вибору інструментальних засобів для програмної реалізації нейромережного застосунку колоризації зображень

Основна мова програмування, на якій була проведена розробка програми – Python.

Python - проста у вивченні, потужна мова програмування. Вона має ефективні високорівневі структури даних та простий, але ефективний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування [15].

Для роботи із колоризацією зображень, буде доцільно використати такі бібліотеки, як TensorFlow та Keras.

TensorFlow - це бібліотека з відкритим вихідним кодом, розроблена компанією Google в першу чергу для додатків глибинного навчання. Вона виявилася дуже корисною і для розвитку глибинного навчання, і тому Google відкрила її з відкритим вихідним кодом [16].

Keras слідує найкращим практикам для зменшення когнітивного навантаження: він пропонує послідовні та прості API, мінімізує кількість дій користувача, необхідних для загальних випадків використання, та надає чіткі та зрозумілі повідомлення про помилки [17].

Для візуалізації даних і роботи застосунку потрібні наступні бібліотеки: Django, matplotlib.

Django - це високорівневий веб-фреймворк Python, який заохочує швидку розробку та чистий, прагматичний дизайн. Створений досвідченими розробниками, він бере на себе більшу частину клопоту з веб-розробкою, тому ви можете зосередитися на написанні вашого додатку без необхідності винаходити велосипед. Він безкоштовний і з відкритим вихідним кодом [18].

Matplotlib - це комплексна бібліотека для створення статичних, анімованих та інтерактивних візуалізацій на мові Python.

Створюйте графіки публікаційної якості; робіть інтерактивні фігури, які можна масштабувати, панорамувати, оновлювати; налаштовуйте візуальний стиль і макет; використовувати багатий набір сторонніх пакетів, побудованих на Matplotlib [19].

Середовище розробки і навчання моделі буде Google Colab.

У Colab можна імпортувати набір даних зображень, навчати на їх основі класифікатор і оцінювати модель за допомогою всього кількох рядків коду. Записники Colab виконують код на хмарних серверах Google, тобто ви можете застосувати можливості апаратного забезпечення Google, зокрема графічних і тензорних процесорів, незалежно від потужності вашого комп'ютера. Вам потрібен лише веб-переглядач [20].

Середовище розробки і візуалізації роботи додатку – PyCharm.

PyCharm забезпечує інтелектуальне завершення коду, перевірку коду, підсвічування помилок на льоту і швидке виправлення, а також автоматизоване рефакторинг коду і багаті можливості навігації.

PyCharm інтегрується з IPython Notebook, має інтерактивну консоль Python та підтримує Anaconda, а також численні наукові пакети, включаючи Matplotlib та NumPy [21].

3.2. Структура програмного забезпечення для нейромережного застосунку колоризації зображень

Розробка структури програмного забезпечення для нейромережного застосунку колоризації зображень виконується з метою організації роботи з програмним забезпеченням та підтримки його функціональності та стабільності (рис. 3.1).

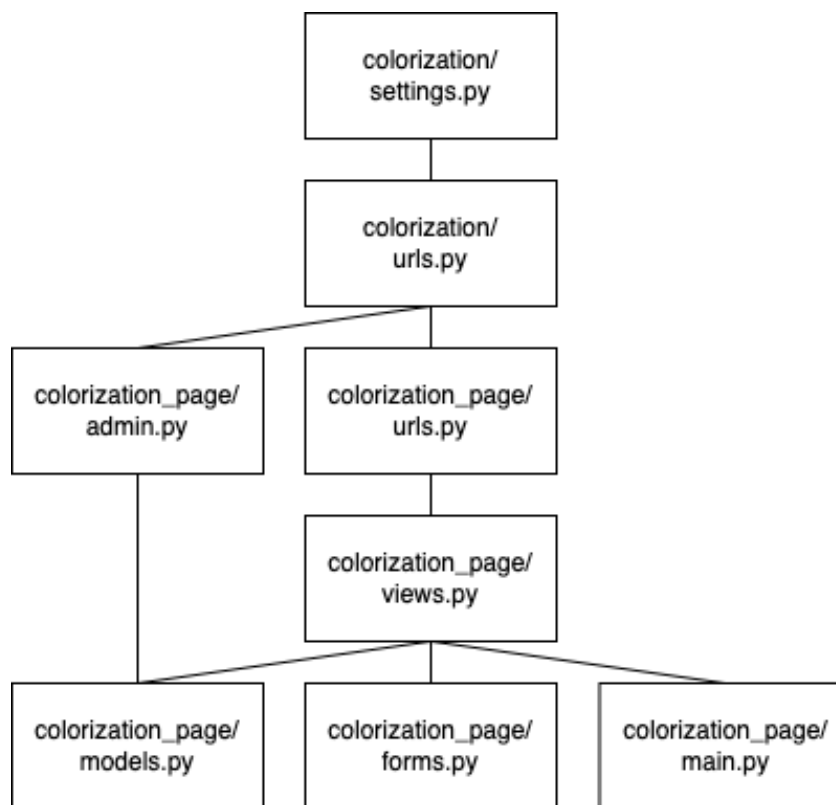


Рисунок 3.1 - Структурна схема програмних модулів для нейромережного застосунку колоризації зображень

Опис модулів нейромережного застосунку колоризації зображень представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Специфікація програмних модулів

Модуль	Опис
colorization/ settings.py	Цей файл містить налаштування для проекту Django, включаючи налаштування бази даних, встановлені програми, статичні каталоги файлів та каталоги для зображень.
colorization/ urls.py	Цей файл визначає URL-адреси для проекту, включно з URL-адресами для програми розфарбовування.
colorization_page/ admin.py	Цей файл визначає інтерфейс адміністратора для керування моделями, визначеними в models.py.
colorization_page/ urls.py	Цей файл визначає URL-адреси для програми розфарбовування, включно з будь-якими поданнями, які буде використано.

Продовження таблиці 3.1

colorization_page/ views.py	Цей файл визначає логіку для кожного подання, визначеного в urls.py.
colorization_page/ models.py	Цей файл визначає моделі для додатку, включаючи всі необхідні таблиці та зв'язки бази даних.
colorization_page/ forms.py	Цей файл визначає форми, що використовуються в додатку, включаючи будь-які поля для завантаження зображень.
colorization_page/ main.py	Цей файл містить логіку, необхідну для алгоритму розфарбовування.

Розглянемо детальніше модуль `colorization_page/views.py`, оскільки він складається з функцій, які використовуються для оперування над додатком:

`index(request)`: основна функція, яка відповідає за додавання нових зображень для колоризації. При заповненні користувачем форми для завантаження зображення, виконується перевірка валідності форми та зберігається новий об'єкт зображення в базі даних. Після цього, використовуючи навчену модель (яка зберігається у файлі `cnn_model_last.h5`), зображення колоризується та зберігається нове зображення після колоризації. Якщо користувач аутентифікований, то нове зображення прив'язується до користувача. Функція повертає сторінку з формою для завантаження зображення та зображенням після колоризації.

`personal_cabinet(request, pk)`: функція відповідає за відображення всіх зображень, що були додані користувачем. Зображення фільтруються за автором та відображаються в зворотньому порядку за часом створення.

`delete_picture(request, pk)`: функція, яка дозволяє користувачам видаляти свої зображення. Користувач вибирає зображення, яке хоче видалити та виконується видалення зображення з бази даних та відповідних файлів.

`login_view(request)`: функція, яка відповідає за аутентифікацію користувача. При введенні користувачем правильних даних для входу в систему, користувача аутентифікують та перенаправляють на головну сторінку. Якщо дані введені неправильно, повертається повідомлення про помилку.

`logout_view(request)`: функція, яка відповідає за вихід користувача з системи. Користувач виходить з системи та перенаправляється на головну сторінку.

`register(request)` - ця функція відповідає за створення нового облікового запису користувача. Якщо запит методом POST, вона спробує створити нового користувача, перевібивши, що введений пароль співпадає із підтвердженням. Якщо створення нового користувача пройшло успішно, користувач автоматично авторизується та перенаправляється на головну сторінку. Якщо запит методом GET, функція відображає сторінку реєстрації.

Система складається з наступних сторінок:

1) С
торінка `index.html`, яка містить форму для завантаження зображення і попередній перегляд завантаженого зображення після його розфарбування.

2) С
торінка `register.html`, містить реєстраційну форму для створення облікового запису новими користувачами. Якщо спроба реєстрації є невдалою, відображається повідомлення про помилку. Якщо спроба реєстрації успішна, користувач автоматично входить в систему і перенаправляється на індексну сторінку.

3) С
торінка `login.html`, яка містить форму для входу в систему, де користувач має ввести своє ім'я користувача та пароль. Якщо спроба входу є невдалою, відображається повідомлення про помилку.

4) С
торінка `personal_cabinet.html`, відображає список всіх зображень, завантажених конкретним користувачем, відсортованих за часом їх створення.

Для візуалізації взаємодії користувача з додатком, побудуємо граф переходів (рис. 3.2).

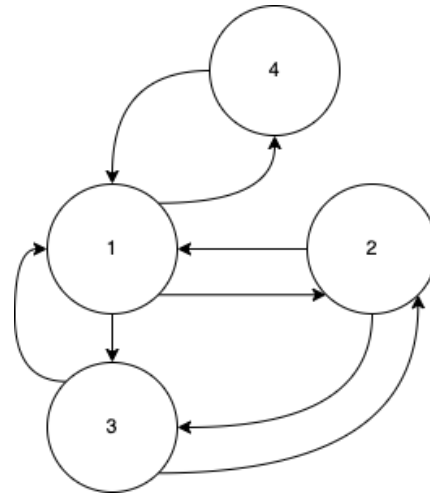


Рисунок 3.2 - Граф переходів неймережного застосунку колоризації зображень

Опис вузлів графу неймережного застосунку колоризації зображень представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Опис графу переходів неймережного застосунку колоризації зображень

Номер	Опис
1-2	Перехід зі сторінки index.html на сторінку register.html.
2-1	Перехід зі сторінки register.html на сторінку index.html.
1-3	Перехід зі сторінки index.html на сторінку login.html.
3-1	Перехід зі сторінки login.html на сторінку index.html.
1-4	Перехід зі сторінки index.html на сторінку personal_cabinet.html.
4-1	Перехід зі сторінки personal_cabinet.html на сторінку index.html.
2-3	Перехід зі сторінки register.html на сторінку login.html.
3-2	Перехід зі сторінки login.html на register.htm.

3.3 Керівництво користувача для нейромережного застосунку колоризації зображень

Нейромережний застосунок колоризації - це веб-додаток, розроблений, щоб допомогти користувачам розфарбовувати свої чорно-білі фотографії за допомогою інструменту розфарбовування на основі штучного інтелекту. Дана система містить 4 сторінки: головна, реєстрація, вхід і особистий кабінет.

Головна сторінка

Після входу в систему користувач потрапляє на головну сторінку. Головна сторінка містить короткий опис системи та її можливостей. Щоб розфарбувати фотографію, користувачеві потрібно завантажити її, натиснувши на кнопку «Обрати файл» або перетягнувши фотографію у відведене для цього місце (рис 3.3). Після завантаження фотографії користувач може натиснути кнопку «Колоризувати» (рис 3.4), щоб розпочати процес розфарбовування. Після того, як фотографія буде розфарбована, користувач може переглянути фото до і після розфарбовування поруч, та за потреби завантажити зображення натиснувши на кнопку «Завантажити зображення» (рис 3.5).

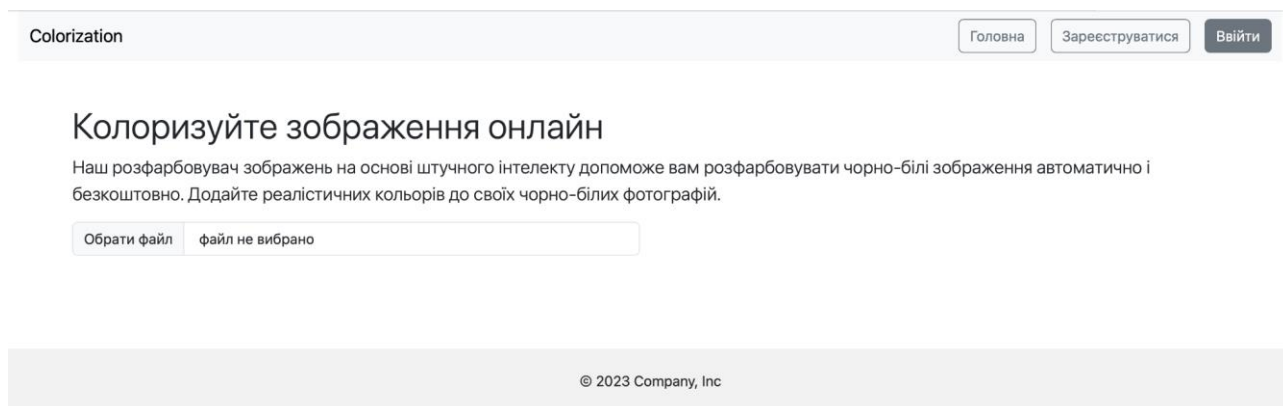


Рисунок 3.3 - Головна сторінка додатку після відкриття



Рисунок 3.4 - Головна сторінка додатку після завантаження зображення

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.

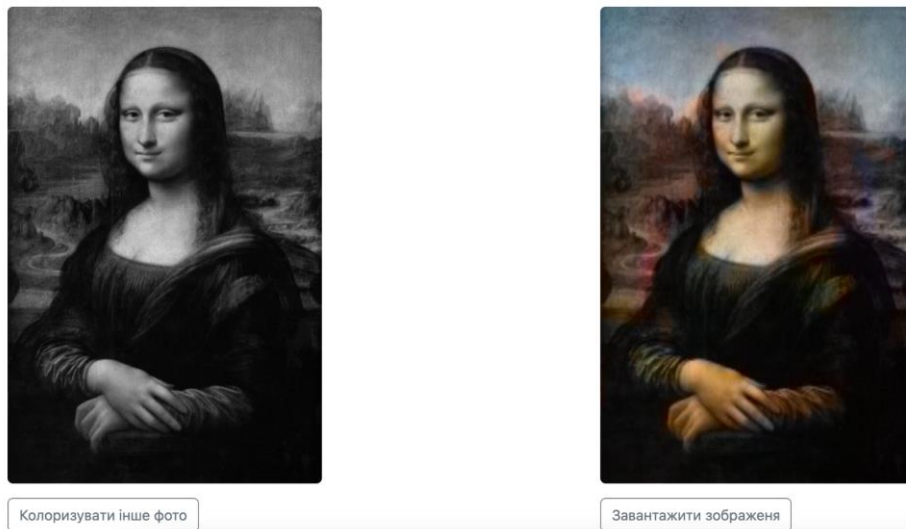


Рисунок 3.5 - Головна сторінка додатку після колоризації зображення

Панель навігації

Панель навігації розташована у верхній частині кожної сторінки і забезпечує користувачеві легкий доступ до основних сторінок системи (рис 3.6).

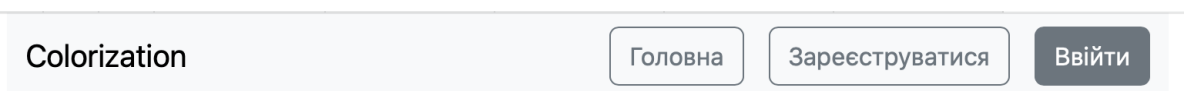


Рисунок 3.6 - Панель навігації до входу в особистий кабінет

Панель навігації містить наступні посилання:

- Головна: повертає користувача на домашню сторінку.

- Зареєструватися: дозволяє новим користувачам створити обліковий запис.

- Ввійти: дозволяє існуючим користувачам увійти до свого облікового запису.

Після входу в обліковий запис деякі посилання змінюються і панель навігації має вид, як на рисунку 3.7.

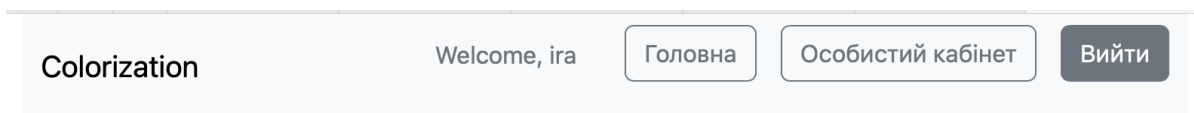


Рисунок 3.7 - Панель навігації після входу в особистий кабінет

Панель навігації містить наступні посилання:

- Головна: повертає користувача на домашню сторінку.
- Особистий кабінет: дозволяє користувачеві переглянути завантажені фотографії та кольорові фотографії.
- Вихід: дозволяє користувачеві вийти з облікового запису.

Сторінка реєстрації

Для реєстрації користувач повинен ввести своє ім'я користувача, адресу електронної пошти, пароль та натиснути кнопку «Зареєструватися» (рис. 3.8). Якщо дані введено правильно, користувач буде перенаправлений на сторінку входу. У разі помилки при реєстрації на сторінці буде відображено повідомлення про помилку.

Рисунок 3.8 - Сторінка реєстрації

Сторінка входу в особистий кабінет

Якщо користувач успішно зареєструвався, то для того, щоб отримати змогу оперувати особистим кабінетом, потрібно виконати вхід. Для цього потрібно заповнити форму входу для користувачів, яка включає поля для введення імені користувача та пароля (рис. 3.9). Якщо логін та/або пароль було введено неправильно, буде відображено повідомлення про помилку. В іншому разі, всі зображення, що будуть колоризовані, будуть додаватися в особистий кабінет.

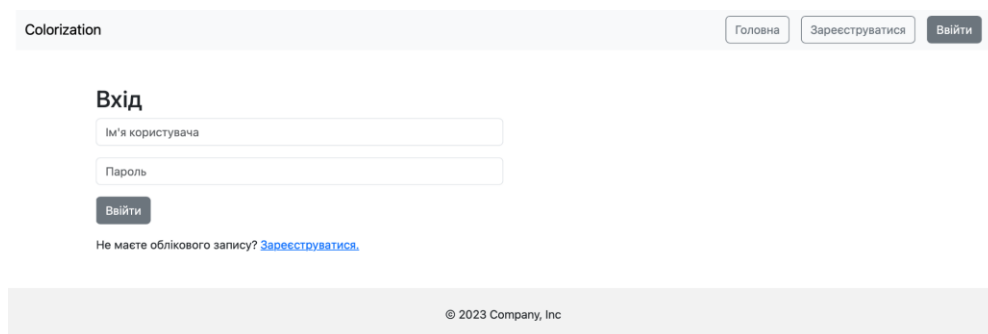


Рисунок 3.9 - Сторінка входу

Особистий кабінет

Сторінка особистого кабінету містить інформацію про обліковий запис користувача, завантажені фотографії та розфарбовані фотографії. Сторінка доступна лише зареєстрованим користувачам, які увійшли до свого облікового запису. З особистого кабінету користувачі можуть переглядати, завантажувати завантажені та розфарбовані фотографії, а також видаляти створені проекти (рис 3.10).

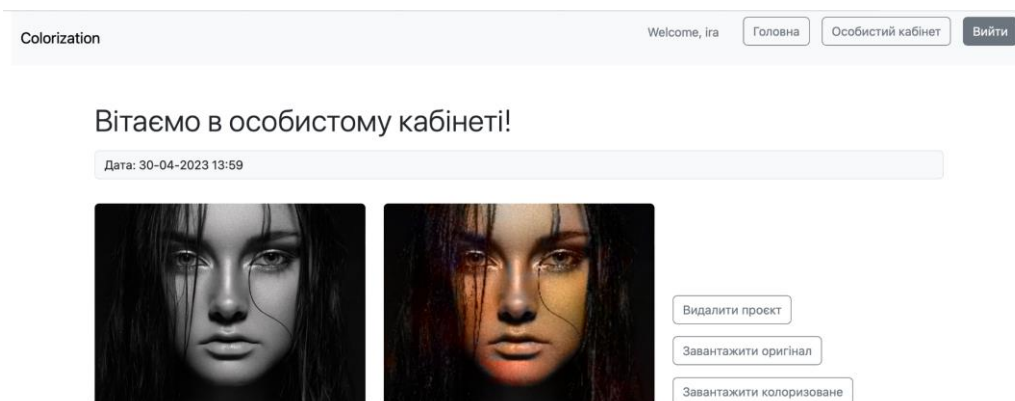


Рисунок 3.10 - Особистий кабінет користувача

3.4 Огляд процесу тестування нейромережного застосунку колоризації зображень

План проведення експериментальних досліджень алгоритму в ході колоризації зображень наведено у додатку А.

Протоколи навчання та оцінки точності роботи алгоритмів глибинного навчання в ході колоризації зображень наведено у додатку Б.

Під час запуску додатку ми переходимо на головну сторінку (рис. 3.11).

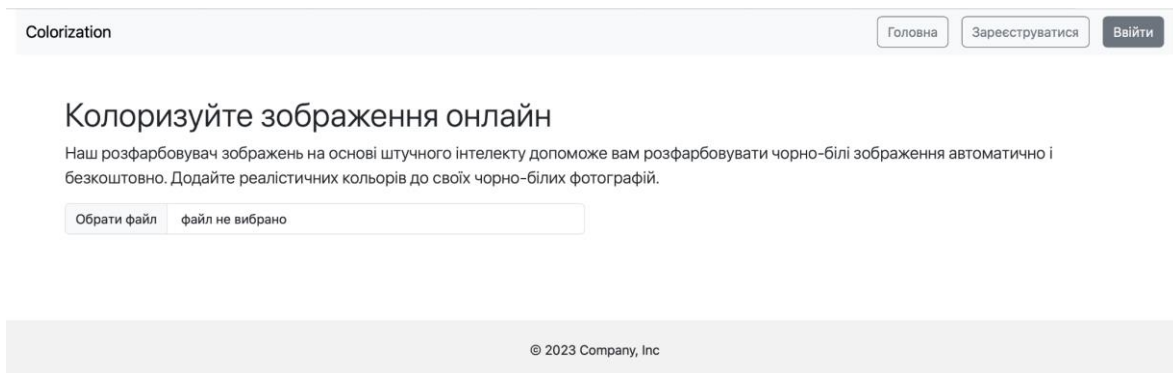


Рисунок 3.11 - Головна сторінка додатку

Для оцінки якості роботи нейронної мережі будемо використовувати критерії з таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Критерії оцінки якості нейронної мережі

Критерій	Опис
Точність	Оцінка, наскільки добре модель передбачає правильні відповіді на тестових даних.
Швидкість	Час, необхідний для обробки вхідних даних моделлю.
Загальна стабільність	Варіація у відповідях моделі при повторних запусках з однаковими вхідними даними.

В ході тестування функції колоризації зображення отримуємо наступні результати (рис. 3.12 - 3.17):

Колоризуйте зображення онлайн

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.12 - Результат колоризації фото дівчини

Колоризуйте зображення онлайн

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.13 - Результат колоризації фото сім'ї

Колоризуйте зображення онлайн

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.14 - Результат колоризації фото тигра

Колоризуйте зображення онлайн

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.15 - Результат колоризації фото дерева

Колоризуйте зображення онлайн

Наш розфарбовувач зображень на основі штучного інтелекту допоможе вам розфарбовувати чорно-білі зображення автоматично і безкоштовно. Додайте реалістичних кольорів до своїх чорно-білих фотографій.



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.16 - Результат колоризації фото кота



Колоризувати інше фото



Завантажити зображення

Рисунок 3.17 - Результат колоризації фото моря

На основі даних з таблиці 3.3 створимо таблицю 3.4, що буде давати узагальнену оцінку процесу колоризації. Критерій Точність, було отримано в

результаті проведення порівняльного аналізу оригінального кольорового зображення з виходом системи при колоризації його чорно-білого варіанту.

Таблиця 3.4 - Результати роботи нейронної мережі

Критерій	Результат
Точність	<p>Найкращі результати колоризації фотографій зафіксовані у природних сценах, зокрема неба, моря та трави, оскільки вони характеризуються чіткими кольорами та текстурами.</p> <p>Колоризація фотографій людей викликана складністю передачі правильних відтінків шкіри та деталей обличчя.</p> <p>Колоризація фотографій тварин була успішною, хоча складніші або незвичайні малюнки можуть потребувати додаткових зусиль для точного відтворення кольорів.</p>
Швидкість	До 100 КБ - 2 с, до 500 КБ - 3 с, до 1 МБ - 7 с, до 6 МБ - 10 с.
Загальна стабільність	Під час повторних запусків отримуємо однакові результати.

Отже, результати роботи системи є залежними від характеру зображення та його складності. Більш складні фото, котрі мають велику кількість дрібних деталей, можуть потребувати додаткової обробки або налаштувань системи для досягнення більш точних результатів.

В ході тестування сторінки реєстрації користувача отримали наступні дані (рис 3.18):

Colorization Головна Зареєструватися Війти

Реєстрація

Ім'я користувача

Адреса електронної пошти

Пароль

Підтвердити пароль

Вже маєте обліковий запис? [Війти.](#)

© 2023 Company, Inc

Рисунок 3.18 - Сторінка реєстрації користувача

<p>Colorization</p> <h3>Реєстрація</h3> <p>Ірина</p> <p>iryna@gmail.com</p> <p>••••</p> <p>•••••</p> <p><input type="button" value="Зареєструватися"/></p> <p>Вже маєте обліковий запис? Війти.</p>	<p>Colorization</p> <h3>Реєстрація</h3> <p>Паролі повинні збігатися.</p> <p>Ім'я користувача <input type="text"/></p> <p>Адреса електронної пошти <input type="text"/></p> <p>Пароль <input type="password"/></p> <p>Підтвердити пароль <input type="password"/></p> <p><input type="button" value="Зареєструватися"/></p> <p>Вже маєте обліковий запис? Війти.</p>
---	---

а) Введення паролів, які різні

б) Повідомлення про не співпадіння

<p>Реєстрація</p> <p>Паролі повинні збігатися.</p> <p>Ірина</p> <p>Введіть адресу е-пошти</p> <p>iryna@gmail.com</p> <p>••••</p> <p>••••</p> <p><input type="button" value="Зареєструватися"/></p> <p>Вже маєте обліковий запис? Війти.</p>	<p>Реєстрація</p> <p>Заповніть це поле</p> <p>Ім'я користувача <input type="text"/></p> <p>iryna@gmail.com</p> <p>••••</p> <p>••••</p> <p><input type="button" value="Зареєструватися"/></p> <p>Вже маєте обліковий запис? Війти.</p>
---	---

в) Введення не коректної адреси пошти

г) Не всі поля заповнені

Рисунок 3.18 - Тестування сторінки реєстрації

В ході тестування сторінки авторизації користувача отримали наступні дані (рис 3.19 - 3.20):

<p>Вхід</p> <p>Ірина</p> <p>•••••</p> <p><input type="button" value="Війти"/></p> <p>Не маєте облікового запису? Зареєструватися.</p>	<p>Вхід</p> <p>Неправильне ім'я користувача та/або пароль.</p> <p>Ім'я користувача <input type="text"/></p> <p>Пароль <input type="password"/></p> <p><input type="button" value="Війти"/></p> <p>Не маєте облікового запису? Зареєструватися.</p>
---	--

- а) Введення некоректного пароля б) Повідомлення про не співпадіння

Рисунок 3.19 - Тестування сторінки авторизації

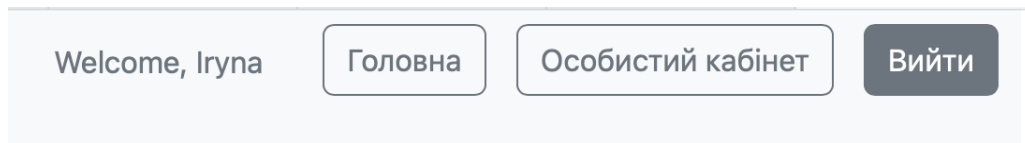


Рисунок 3.20 - Навігаційне меню після входу в особистий кабінет

Проведемо тестування особистого кабінету користувача:

- 1) Відображення сторінки особистого кабінету, якщо користувач ще не створював проєктів зображено на рисунку 3.21.

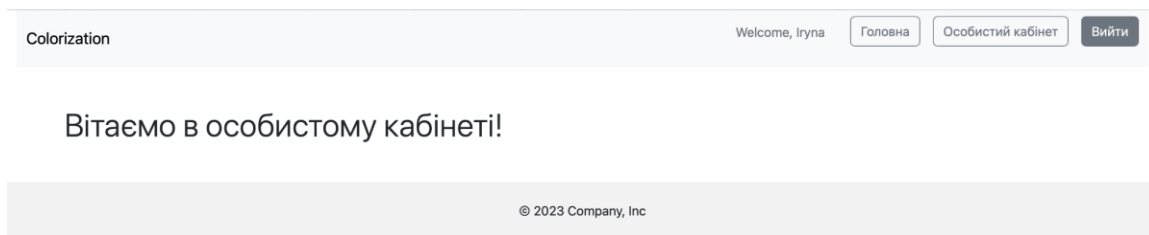


Рисунок 3.21 - Особистий кабінет, щойно зареєстрованого користувача

- 2) Відображення сторінки особистого кабінету користувач, що має проєкти зображено на рисунку 3.22.

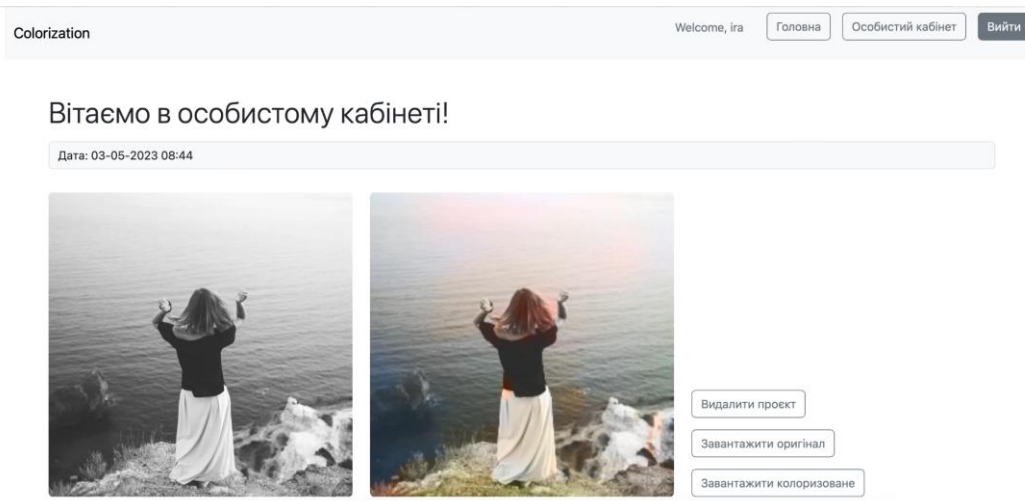


Рисунок 3.22 - Особистий кабінет, активного користувача

- 3) Завантаження оригіналу зображення і колоризованого (рис. 3.23 - 3.24).

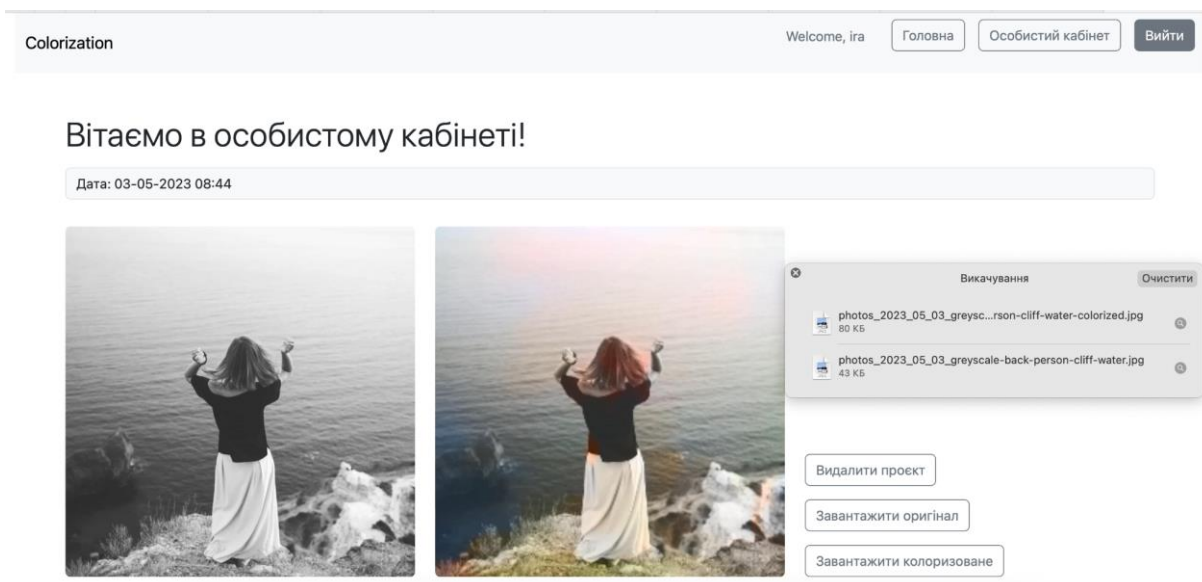
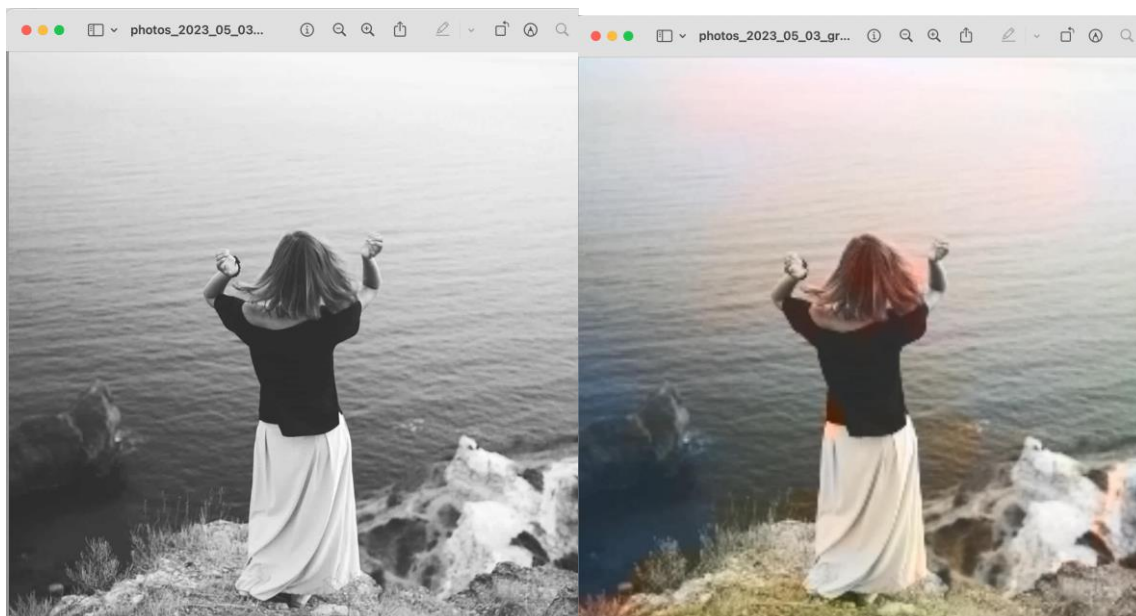


Рисунок 3.23 - Результат натискання на клавіші «Завантажити оригінал» та «Завантажити колоризоване»



а) Оригінал

б) Колоризоване

Рисунок 3.24 - Збережені зображення

4) Видалення проєкту (рис. 3.25).

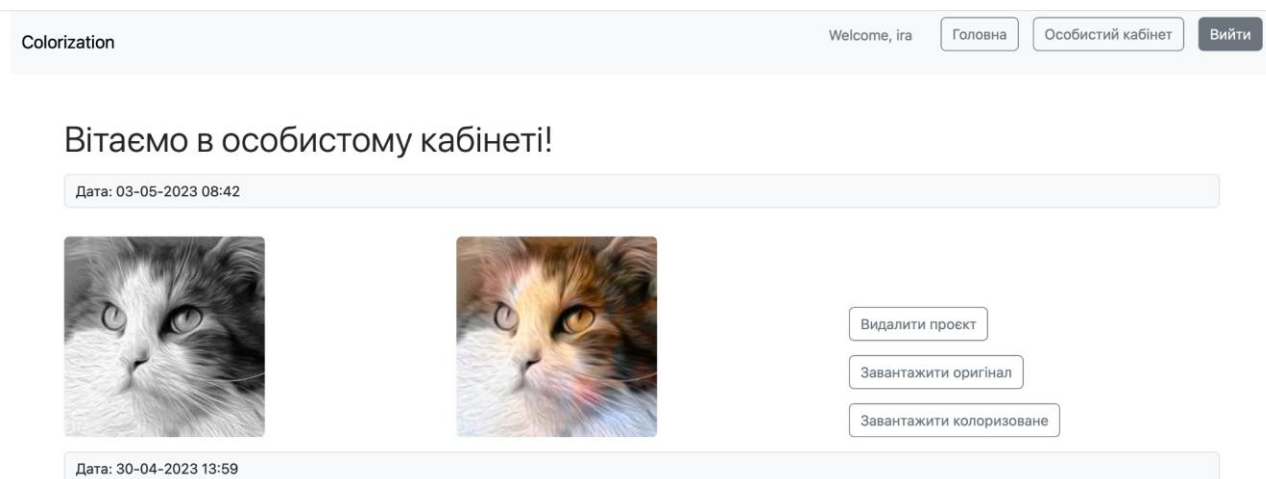


Рисунок 3.25 - Відображення наступного проєкту після натискання на кнопку «Видалити проєкт» у попереднього

3.5 Висновки до розділу 3

У розділі 3 було розглянуто програмне забезпечення для нейромережного застосунку колоризації зображень. Обґрунтували вибір інструментальних засобів, таких як Python, TensorFlow, Keras, Django та matplotlib. Була описана структура програмного забезпечення, включаючи специфікацію програмних модулів. Крім того, надано керівництво користувача для нейромережного застосунку, яка складається з чотирьох сторінок: головної, реєстрації, входу та особистого кабінету.

У розділі також було описано процес тестування системи колоризації зображень. З результатів тестування можна зробити висновки про те, з якими характеристики колоризація зображення дає кращі результати.

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто проблему колоризації зображень за допомогою нейромереж. Було проведено дослідження та розроблено архітектуру нейромережного застосунку, який забезпечує ефективну колоризацію зображень. За допомогою системи було здійснено колоризацію різних типів зображень, зокрема природних сцен і зображень тварин.

Отримані результати колоризації показали, що найкращі результати були досягнуті на природних сценах, таких як небо, море та трава. Проте колоризація фотографій людей не була настільки точною, зокрема щодо розфарбування обличчя. Під час тестування системи було виявлено, що складні зображення з багатьма дрібними деталями можуть потребувати додаткової обробки або налаштувань для досягнення кращих результатів.

Загальний висновок полягає в тому, що колоризація зображень за допомогою нейромереж має перспективи та потенціал для розвитку. Розроблена архітектура нейромережного застосунку є ефективною і може бути використана в практичних застосуваннях. Проте для досягнення кращих результатів і більшої універсальності системи, рекомендується проведення подальших досліджень та покращень.

Також важливо розглянути можливості оптимізації алгоритмів для поліпшення швидкості та ефективності системи. Використання новітніх технологій та розробка більш потужних нейромереж можуть покращити якість та швидкість колоризації зображень.

Перспективи подальших напрямів досліджень включають розширення областей застосування колоризації зображень. Наприклад, система може бути використана для реставрації старих фотографій та фільмів з метою їх більш реалістичного відображення. Крім того, можна розглянути можливість використання системи для творчих цілей, таких як художнє колоризування зображень або створення ефектів настрою за допомогою кольору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Y. Di, X. Zhu, X. Jin, Q. Dou, W. Zhou, and Q. Duan, «Color- UNet++: A resolution for colorization of grayscale images using improved UNet++», *Multimedia Tools Appl.*, Mar. 2021, p. 1–20.
2. S.Huang, X.Jin, Q.Jiang, J.Li, S.-J.Lee, P.Wang, and S.Yao, «A fully-automatic image colorization scheme using improved CycleGAN with skip connections», *Multimedia Tools Appl.*, May 2021.
3. J.-W. Su, H.-K. Chu, and J.-B. Huang, «Instance-aware image colorization», in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, Jun. 2020, p. 7965–7974.
4. P. Vitoria, L. Raad, and C. Ballester, «ChromaGAN: Adversarial picture colorization with semantic class distribution» in *Proc. IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis. (WACV)*, Mar. 2020, p. 2445–2454.
5. Ivana Žeger , Sonja Grgic, Josip Vuković , Gordan Šišul, «Grayscale Image Colorization Methods: Overview and Evaluation», August 2021.
6. S. Yoo, H. Bahng, S. Chung, J. Lee, J. Chang, and J. Choo, «Coloring with limited data: Few-shot colorization via memory augmented networks», in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2019, p. 11283–11292.
7. Saeed Anwar, Muhammad Tahir, Chongyi Li, Ajmal Mian, Fahad Shahbaz Khan, Abdul Wahab Muzaffar, «Image Colorization: A Survey and Dataset». Accessed: 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9512069>
8. Cutout.pro Photo Colorizer Black and White. [Online]. Available: <https://www.cutout.pro/photo-colorizer-black-and-white>
9. Img2Go. [Online]. Available: <https://www.img2go.com/colorize-image>
10. MyHeritage InColor. [Online]. Available: <https://www.myheritage.com.ua/incolor>
11. Picwish. [Online]. Available: <https://picwish.com/photo-colorizer>

12. A. Khan, A. Sohail, U. Zahoora, and A. S. Qureshi, «A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks». Accessed: 2019. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1901.06032>
13. Z. Zhao, P. Zheng, S. T. Xu, and X. Wu, «Object detection with deep learning: a review», IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2019, p. 3212– 3232.
14. A. Garcia-Garcia, S. Orts-Escolano, S. Oprea, V. Villena- Martinez, P. Martinez-Gonzalez, and J. Garcia-Rodriguez, «A survey on deep learning techniques for image and video semantic segmentation», Applied Soft Computing, 2018, p. 41– 65.
15. Python 3.11.1 documentation. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3>
16. Tensorflow documentation. [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org>
17. Keras documentation. [Online]. Available: <https://keras.io>
18. Django documentation. [Online]. Available: <https://www.djangoproject.com/>
19. Matplotlib: Visualization with Python documentation. [Online]. Available: <https://matplotlib.org>
20. Colab documentation. [Online]. Available: <https://colab.research.google.com>
21. PyCharm documentation. [Online]. Available: <https://www.jetbrains.com/pycharm>
22. Flickr Image dataset [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/hsankesara/flickr-image-dataset>

ДОДАТОК А

Для проведення навчання використовувався Flickr 30k dataset [22]. Це публічний набір даних, який містить 31783 зображення з роздільною здатністю 200x200. Він став стандартним еталоном для підписів до зображень, але через різноманітність зображень, які він містить, цей набір даних буде використаний для остаточного навчання та валідації моделей.

Для того, щоб навчити моделі, набори даних, повинні були бути попередньо оброблені перед тим, як вони будуть надані моделям.

В ході реалізації буде братися за основу колірне представлення даних у форматі Lab.

Формат LAB розбиває зображення на 3 канали:

L: Світлість зображення за шкалою від 0 до 100. Цей канал представляє зображення у відтінках сірого.

a: зелено-червоний колірний спектр. Значення в діапазоні від -128 (зелений) до 127 (червоний).

b: синьо-жовтий спектр. Значення від -128 (синій) до 127 (жовтий).

Приклад зображення у форматі LAB з датасету Flickr наведено на рис. А.1.

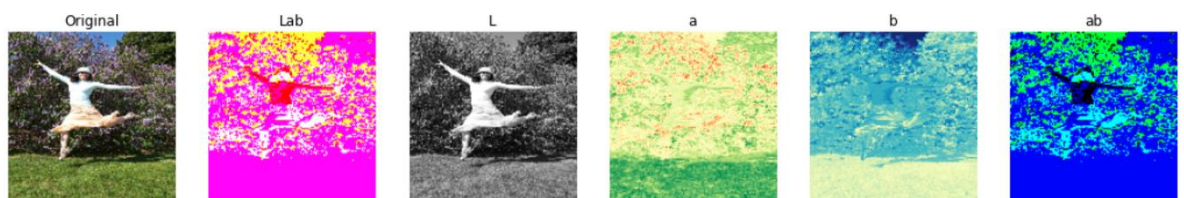


Рисунок А.1 – Зображення із датасет Flickr в Lab форматі

Розмір зображення - 128x128.

Модель CNN відображена на рисунку А.2.

Модель побудовано з 8 блоків згорткових шарів, без об'єднання шарів і з використанням лише пакетної нормалізації в кінці кожного блоку, як єдиної

регуляризації (рис. А.2). Реалізована модель використовує стандартний оптимізатор Адама та середньоквадратичну похибку втрат.

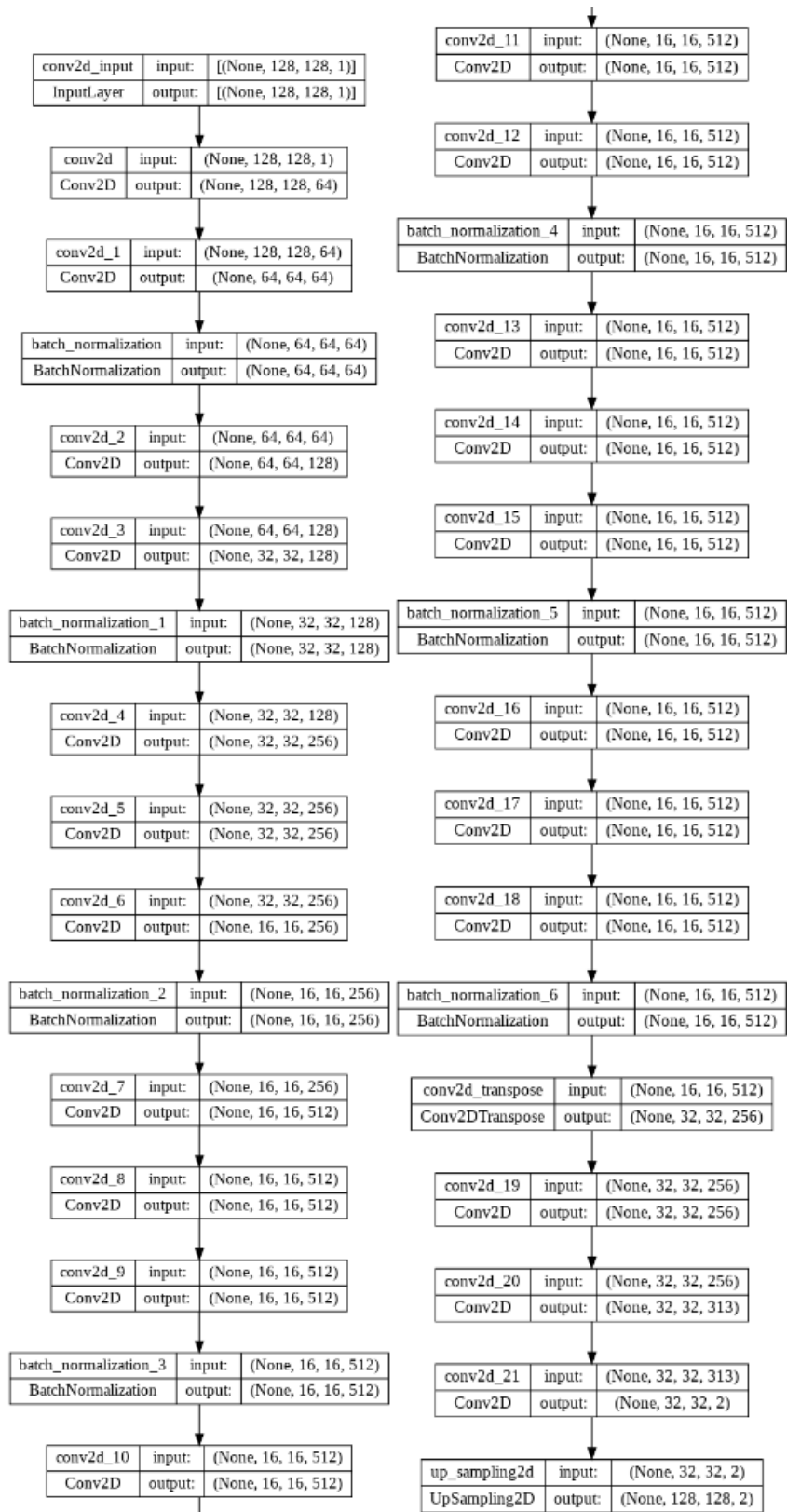


Рисунок А.2 – Графічне представлення моделі

ДОДАТОК Б

В ході навчання були отримані проміжні результати, точності і втрат:
- при 50 епохах (рис. Б.3 - Б.5);

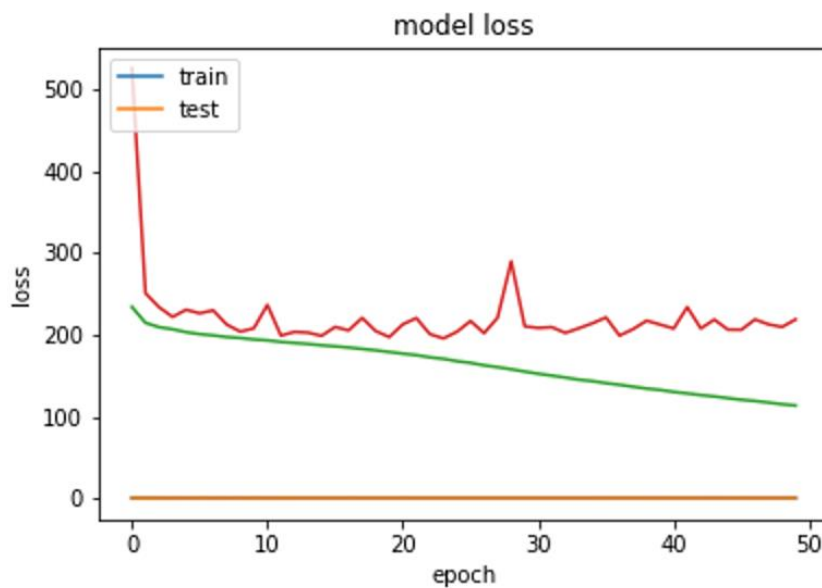


Рисунок Б.3 – Графік втрат при 50 епохах навчання

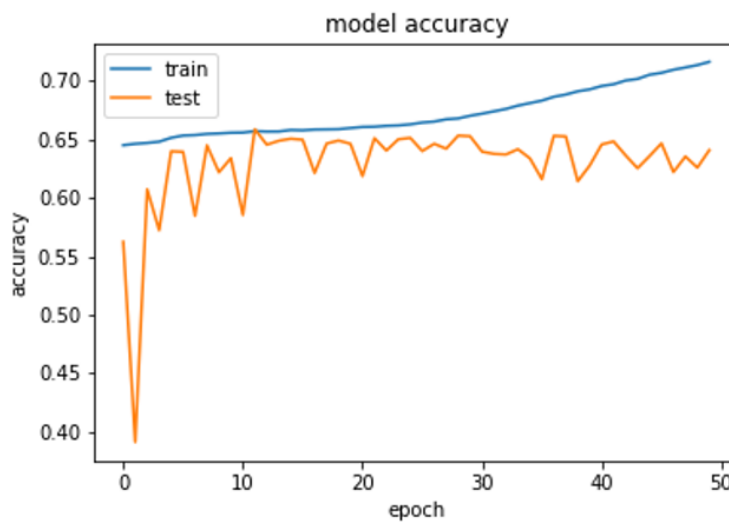


Рисунок Б.4 – Графік точності при 50 епохах навчання

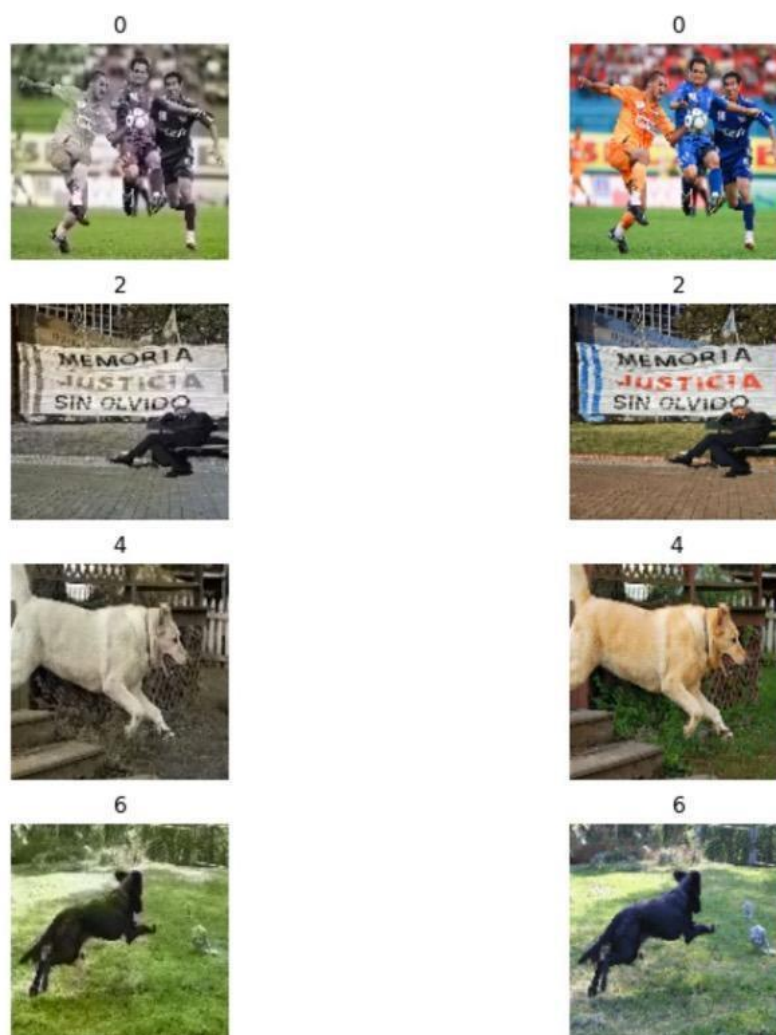


Рисунок Б.5 – Відображення результату після 50 епох навчання
- при 100 епохах (рис. Б.6 - Б. 8).

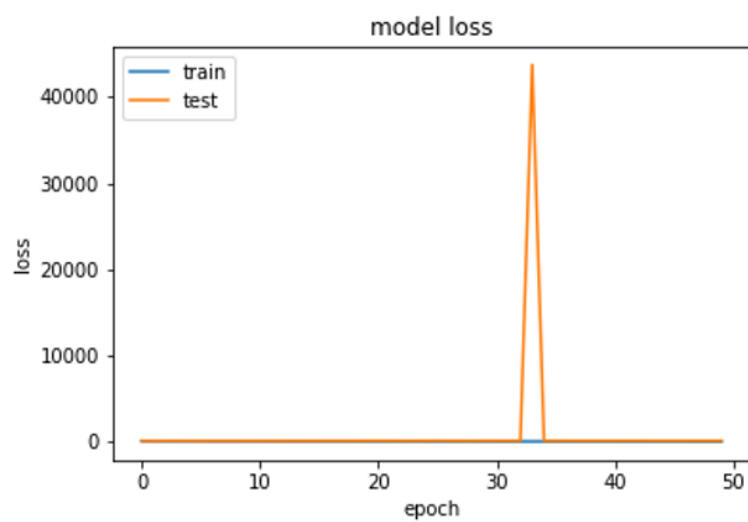


Рисунок Б.6 – Графік втрат при 100 епохах навчання

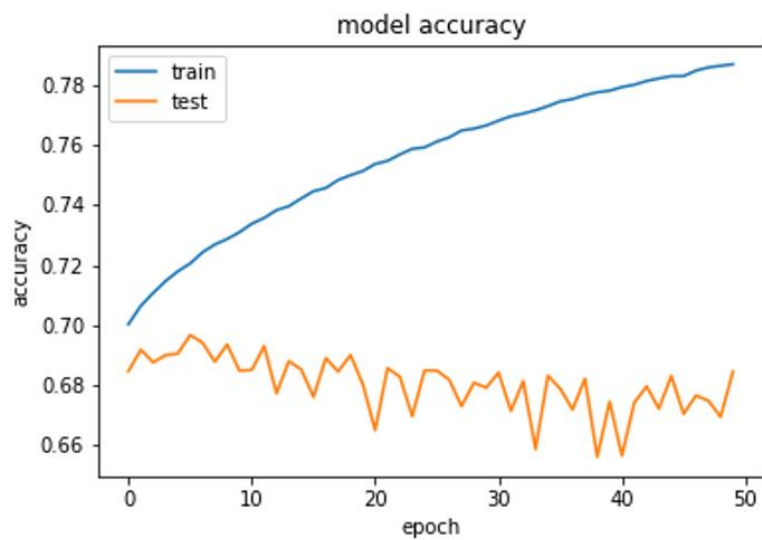


Рисунок Б.7 – Графік точності при 100 епохах навчання

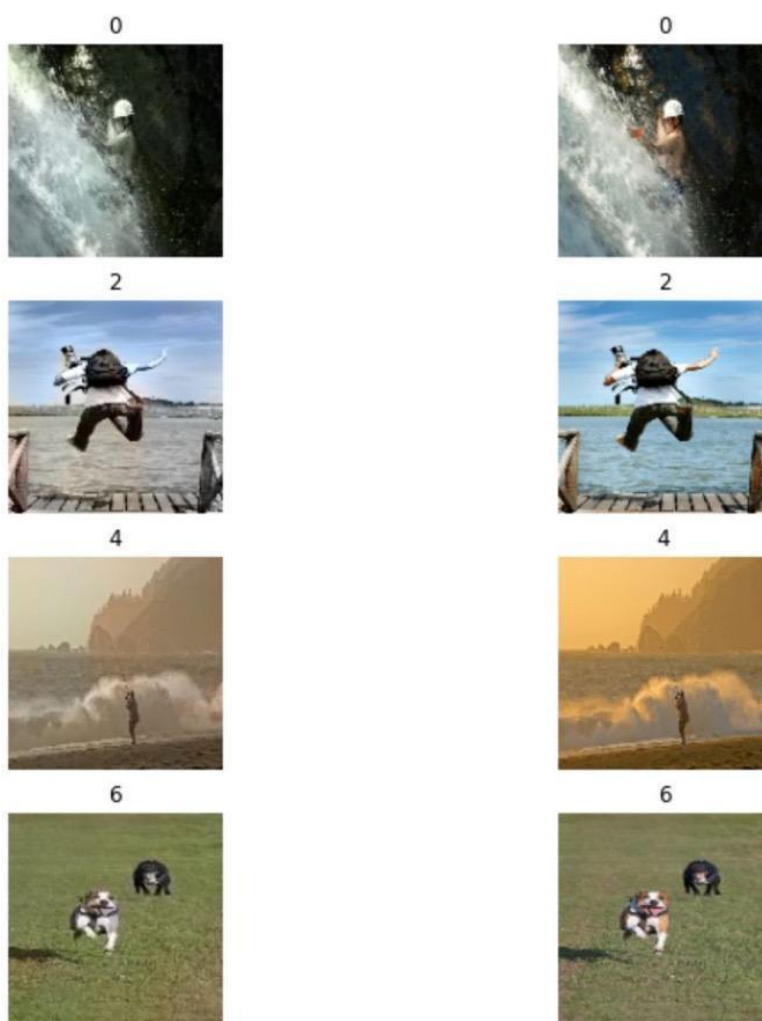


Рисунок Б.8 – Відображення результату після 100 епох навчання