

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 розпізнавання емоцій

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

Ківачук І. П.

(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

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет інформаційних технологій
Кафедра інтелектуальних технологій
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інтелектуальних технологій
Іларіонов О.Є.

“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Ківачук Інні Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

Нейромережний застосунок розпізнавання емоцій

затверджена протоколом засідання кафедри від « 11 » листопада 2022 р. протокол №4

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 11 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Наукові дослідження та публікації з області розпізнавання емоцій людини. Дані для навчання та тестування нейромережного застосунку. Науково-технічні публікації, які стосуються архітектури та розробки глибоких нейронних мереж. Дані про алгоритми навчання нейронних мереж, які можуть бути використані для покращення розпізнавання емоцій людини.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Аналіз процесу розпізнавання емоцій. Аналітичний огляд літератури за темою розпізнавання емоцій людини. Аналіз існуючих нейромережних застосунків розпізнавання емоцій людини. Аналіз основних процесів розпізнавання емоцій людини. Постановка задачі на розробку нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини.

2. Розробка архітектури нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Розробка архітектури системи розпізнавання емоцій людини. Функціональний аналіз системи. Аналіз процесу розпізнавання емоцій людини. Архітектура нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Вибір та обґрунтування методу класифікатора Хаара для розпізнавання обличчя та нейронної мережі CNN для розпізнавання емоцій людини. Інформаційне забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини.

3. Програмне забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Обґрунтування вибору програмних засобів для реалізації нейромережного застосунку розпізнавання

емоцій людини. Структура програмного забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Керівництво користувача. Огляд процесу тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. 4. Висновки.

5. Перелік презентаційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових презентацій)

1. Постановка задачі: об'єкт дослідження, мета роботи, предмет дослідження.

2. Аналіз процесу розпізнавання емоцій людини: основні терміни, актуальність поставленої задачі, аналіз існуючих нейромережних застосунків розпізнавання емоцій людини, основні процеси розпізнавання емоцій людини, функціональні та нефункціональні вимоги.

3. Архітектура нейромережного застосунку: функціональний аналіз системи, аналіз процесу розпізнавання емоцій людини, обґрунтування методу класифікатора Хаара та нейронної мережі CNN, інформаційне забезпечення нейромережного застосунку.

4. Програмне забезпечення: граф переходів сторінок сайту та їх опис, результати тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. 5. Висновки.

6. Консультанти з випускної кваліфікаційної роботи із зазначенням розділів випускної кваліфікаційної роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13 лютого 2023 року

Керівник _____ / Федусенко О.В. /
(підпис) _____ (ПІБ)
Завдання прийняв до виконання _____ / Ківачук І.П. /
(підпис) _____ (ПІБ)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Заповнене та підписане керівником та студентом завдання, перший розділ дипломної роботи.	16.02.2023 - 01.03.2023	
2	Перший та другий розділ дипломної роботи.	01.04.2023 - 10.04.2023.	
3	Повністю готова дипломна робота (в електронному вигляді).	01.05.2023 - 10.05.2023	
4	Повністю готова дипломна робота, відгук керівника, презентація до роботи (в електронному вигляді).	19.05.2023 - 28.05.2023	
5	Остаточний варіант дипломної роботи у електронному вигляді.	30.05.2023 – 06.06.2023	
6	Здача готових дипломних робіт на кафедру.	07.06.2023 – 11.06.2023	

Студент-дипломник _____ / Ківачук І.П. /
(підпис) _____ (ПІБ)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ / Федусенко О.В. /
(підпис) _____ (ПІБ)

Анотація

Ківачук Інна Петрівна виконала випускню кваліфікаційну роботу на тему “Нейромережний застосунок розпізнавання емоцій” за спеціальністю 122 – “Комп’ютерні науки”.

У роботі було проведено аналіз літератури, вивчено існуючі нейромережні застосунки та сформульовано задачу дослідження. Була розроблена архітектура системи, включаючи функціональний аналіз та вибір методології. Для розпізнавання обличчя використовувався класифікатор Хаара, а для розпізнавання емоцій – нейронна мережа CNN. Також були обґрунтовані вибір програмних засобів, представлена структура програмного забезпечення та надано керівництво користувача. В роботі також описано процес тестування нейромережного застосунку.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, нейромережний застосунок, класифікатор Хаара, нейронна мережа CNN.

Summary

Kivachuk Inna has completed her graduation thesis on the topic “Neural network application for emotion recognition” in the field of Computer Science (specialty 122).

This thesis analyzes the literature, examines existing neural network applications, and formulates the research objective. The system architecture was developed, including functional analysis and methodology selection. The Haar classifier was used for face recognition, and the CNN neural network was used for emotion recognition. The choice of software tools was also justified, the software structure was presented, and a user guide was provided. The thesis also describes the process of testing the neural network application.

Keywords: emotion recognition, neural network application, Haar classifier, CNN neural network.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ	4
1.1 Аналітичний огляд літератури за темою розпізнавання емоцій людини	4
1.2 Аналіз існуючих нейромережних застосунків розпізнавання емоцій людини	6
1.3 Аналіз основних процесів розпізнавання емоцій людини	11
1.4 Постановка задачі на розробку нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	17
Висновок до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ	20
2.1 Розробка архітектури системи розпізнавання емоцій людини	20
2.1.1 Функціональний аналіз системи	20
2.1.2 Аналіз процесу розпізнавання емоцій людини	23
2.1.3 Архітектура нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	25
2.2 Вибір та обґрунтування методу класифікатора Хаара для розпізнавання обличчя та нейронної мережі CNN для розпізнавання емоцій людини	27
2.3 Інформаційне забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	35
Висновок до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ	40
3.1 Обґрунтування вибору програмних засобів для реалізації нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	40
3.2 Структура програмного забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	42
3.3. Керівництво користувача	46

3.4 Огляд процесу тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини	52
Висновок до розділу 3	59
ВИСНОВКИ	60
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	62
ДОДАТОК А	64

ВСТУП

Дипломна робота присвячена розробці нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Актуальність дослідження є високим, так як міміка є одним із безпосередніх, природних і потужних засобів для людей, щоб передати свої наміри та емоції, вона відіграє важливу роль у нашому щоденному спілкуванні. Систему розпізнавання емоцій можна використовувати в багатьох важливих програмах, таких як безпека водіїв, охорона здоров'я, відеоконференції, віртуальна реальність, когнітивна наука тощо.

Об'єкт дослідження - процес розпізнавання емоцій обличчя з допомогою комп'ютерного бачення.

Предмет дослідження - методи побудови нейронної мережі для розпізнавання емоцій обличчя по їх зображенню.

Мета роботи є розробка нейромережного застосунку для розпізнавання емоцій обличчя по їх зображенню.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз процесу розпізнавання емоцій людини: аналітичний огляд літератури за темою розпізнавання емоцій людини, аналіз існуючих нейромережних застосунків розпізнавання емоцій людини, аналіз основних процесів розпізнавання емоцій людини, постановка задачі на розробку нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини.

При реалізації програмного застосунку буде використано середовище розробки PyCharm. Основна мова програмування Python, створення графічного інтерфейсу буде реалізовано за допомогою бібліотеки Django.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ

1.1 Аналітичний огляд літератури за темою розпізнавання емоцій людини

За останні два десятиліття[1] розпізнавання виразу обличчя стало важливою областю досліджень. Міміка є одним із безпосередніх, природних і потужних засобів для людей, щоб передати свої наміри та емоції, вона відіграє важливу роль у нашому щоденному спілкуванні. Систему розпізнавання емоцій можна використовувати в багатьох важливих програмах, таких як безпека водіїв, охорона здоров'я, відеоконференції, віртуальна реальність, когнітивна наука тощо. Так, наприклад, аналіз емоцій людей на платформах станцій метро, у аеропортах, автовокзалах, може допомогти визначати підозрілу поведінку людини, та сповіщати про це відповідні органи (наприклад, про потенційну терористичну загрозу). Аналіз емоцій людей в різних магазинах може допомогти визначити задоволення клієнтів тим, чи іншим товаром, що в майбутньому допоможе в розвитку сфери маркетингу закладів. Також це може бути корисним і під час різноманітних опитувань, оскільки це дає можливість побачити, які саме питання (чи яка частина рекламного ролику) добре працюють і викликають емоційний відгук людей. Емоційний стан учня може запропонувати зміну стилю презентації та бути більш інтерактивним для ефективного репетиторства. Використання розпізнавання емоцій також стає поширеним у іграх, де емоційний стан регулює взаємодію користувача. Завдяки широкому діапазону застосувань розпізнавання виразу обличчя привернуло значну увагу у галузі комп'ютерного зору.

Розпізнавання виразу обличчя – це технологія, яка використовується для аналізу емоцій людини за різними джерелами, наприклад зображеннями та відео[4].

Людське обличчя має кілька компонентів, на основі руху і змін яких у формі та розмірі емоції можна розпізнати різними способами. Однак ці рухи є результатом різних комбінацій скорочення та розслаблення м'язів обличчя. У

більшості випадків вираз обличчя є невербальним способом емоційного вираження, і його можна розглядати як конкретний доказ того, щоб з'ясувати, чи людина говорить правду чи ні. Зокрема, зоровий контакт є важливим етапом комунікації. Вирази обличчя зазвичай включають посмішку, смуток, гнів, огиду, здивування та страх.

Як правило, вираз лица характеризується трьома різними типами сигналів, таких як статичні, повільні та швидкі сигнали[2]. Статичними сигналами є колір шкіри, який включає кілька тривалих аспектів пігментації шкіри обличчя, відкладень жиру, форми обличчя, розміщення кісток, хряща і форми, розташування і розміру рис обличчя, таких як брови, очі, ніс, рот. Повільні сигнали - це постійні зморшки, які включають зміни зовнішнього вигляду обличчя, такі як м'язовий тон і зміна текстури шкіри, які відбуваються повільно з часом. Швидкі сигнали підвищують брови, які включають рух м'язів обличчя, непостійні зміни зовнішнього вигляду обличчя, непостійні зморшки і зміни в місцезнаходженні і формі рис обличчя. Ці зміни на обличчі залишаються протягом кількох секунд.

Розпізнавання виразу обличчя зазвичай складається з трьох кроків: розпізнавання осіб, вилучення ознак і розпізнавання виразів [3]. Найбільш важливою частиною є вилучення ознак, що безпосередньо впливає на кінцевий результат розпізнавання.

Розпізнавання міміки з високою точністю та швидкістю залишається складним завданням у наш час. Виявлено, що в режимі реального часу все ще існує кілька поширених проблем, які перешкоджають розвитку цієї системи. Деякі з проблем в визначення емоцій на обличчі виникають через дуже динамічний і нечіткий характер наших обличь, мінливість міміки. Також вилучені функції чутливі до зміни освітлення, оклюзії та шуму[1]. Це означає, що невелика зміна освітленості, оклюзії та шуму може вплинути на швидкість точності розпізнавання. Здебільшого великий збіг між класами емоцій дуже ускладнює завдання класифікації. Також проблемою є те, що вираз обличчя може незначно відрізнятися у різних людей та може змішувати різні емоційні

стани, які відчуються одночасно (наприклад, страх і гнів, щасливий та сумний) або взагалі не виражати емоції. З іншого боку, є емоції, які не можуть бути виражені на чиємусь обличчі, тому висновок, заснований виключно на міміці, може призвести до неправильних вражень.

1.2 Аналіз існуючих нейромережних застосунків розпізнавання емоцій людини

Morphcast

Morphcast пропонує сервіс розпізнавання емоцій на обличчі, який можна використовувати для виявлення емоцій людей на фотографіях і відео. Ця технологія використовує штучний інтелект і комп'ютерний зір для аналізу виразу обличчя та ідентифікації емоцій. Сервіс виявити сім основних емоцій, включаючи радість, смуток, гнів, страх, здивування, нейтральний та відразу. Служба розпізнавання емоцій на обличчі може ідентифікувати вирази обличчя з точністю до декількох десятих відсоткового пункту. Технологія розпізнавання емоцій обличчя Morphcast може бути використана для визначення емоцій у різних контекстах, наприклад, при взаємодії з клієнтами. Також вона може бути використана для виявлення потенційного шахрайства та підозрілих дій. Morphcast доступний як хмарний сервіс, що дозволяє компаніям інтегрувати технологію в існуючі системи[4].

FaceReader Noldus

FaceReader Noldus - це автоматизоване програмне забезпечення для розпізнавання виразу обличчя, розроблене компанією Noldus Information

Technology. Програмне забезпечення використовує передовий штучний інтелект для обробки зображень обличчя і точного визначення восьми основних емоцій: нейтральний, щастя, смуток, гнів, страх, здивування і відраза, презирство. Програма вимірює інтенсивність кожної емоції і створює докладні звіти про отримані дані. Вона використовує складні алгоритми для аналізу зображень у реальному часі, забезпечуючи надійні та точні результати. Програмне забезпечення використовується в поведінкових дослідженнях, маркетингових дослідженнях, охороні здоров'я та багатьох інших сферах.[5]

Face ++

Face++ - це передова технологія розпізнавання емоцій на обличчі, яка використовує алгоритми глибокого навчання для точного розпізнавання емоцій на людських обличчях. Він може виявити та класифікувати 8 універсальних емоцій, включаючи щастя, смуток, здивування, гнів, огиду, страх та нейтральну емоцію. Він призначений для аналізу тонких змін у виразі обличчя, що дозволяє більш точно і надійно розпізнавати емоції. Він використовується в широкому спектрі додатків, від розваг до обслуговування клієнтів і охорони здоров'я. Face++ відрізняється високою точністю і надійністю, низьким рівнем помилкових спрацьовувань і високим показником точності. Завдяки своїй передовій технології, Face++ є одним з провідних рішень для розпізнавання емоцій на сьогоднішній день.[6]

FaceReader Online

FaceReader Online - це передовий програмний комплекс, який використовує технологію розпізнавання обличчя для виявлення емоцій. Вона здатна розпізнавати та інтерпретувати 7 основних емоцій. FaceReader Online можна використовувати для різних застосувань, таких як управління клієнтським досвідом, маркетингові дослідження, дизайн користувацького досвіду та аналіз настроїв. Система використовує унікальне поєднання комп'ютерного зору та штучного інтелекту для точного розпізнавання та вимірювання емоційного виразу обличчя. Вона здатна аналізувати вираз обличчя людини в режимі реального часу, що може допомогти компаніям отримати

глибше розуміння потреб та вподобань своїх клієнтів. Система легка у використанні, з простим інтерфейсом та інтуїтивно зрозумілим управлінням. Вона є високоточною та надійною, з 95% точністю розпізнавання обличчя.[7]

Критерії для аналізу існуючих систем:

1. Розпізнавання емоції на фото та на відео - основна функція систем, це різновид технології розпізнавання облич, яка використовує алгоритми для ідентифікації та вимірювання емоційного виразу обличчя людини на зображеннях або відео.

2. Аналіз емоцій у реальному часі - додаткова функція, яка дозволяє класифікувати емоції через налаштовану веб-камеру. Опція має багато переваг, наприклад, дає уявлення про настрої споживачів, дозволяє компаніям швидко реагувати на відгуки клієнтів, а маркетологам - адаптувати свої повідомлення на основі поточних настроїв споживачів.

3. Визначення емоції кількох людей в одному кадрі - дозволяє класифікувати більше, ніж одну людину на фото/відео. Однією з переваг функції є те, що це може заощадити час і ресурси порівняно з індивідуальною оцінкою кожної людини. Крім того, це може забезпечити більш точну оцінку емоційного середовища в конкретній ситуації або місці.

4. Кількість емоцій для класифікації - кожна система має свою кількість емоцій, за якими вона класифікує вираз обличчя людини, зазвичай існує шість основних емоцій, які використовуються для класифікації: щастя, смуток, здивування, страх, відраза і гнів.

5. Визначення віку людини та визначення статі людини - додаткові функції, які вбудовані у систему визначення емоцій людини. Перевагами визначення віку особи є можливість точно оцінити її правові можливості та обмеження, а також надати їй відповідні послуги та ресурси, які відповідають її віковій групі. Визначення статі особи може допомогти у наданні їй відповідних медичних, освітніх та соціальних послуг, адаптованих до її потреб. Це також може сприяти юридичному визнанню особи відповідно до її гендерної ідентичності.

6. Можливість експорту даних в режимі реального часу - функція, за допомогою якої користувач може отримувати звіт роботи системи паралельно з її використанням. Переваги експорту даних у режимі реального часу включають підвищення точності, кращу безпеку даних та покращення обслуговування клієнтів. Крім того, експорт даних у режимі реального часу може сприяти більш ефективному аналізу даних і прийняттю рішень, що веде до більшої гнучкості бізнесу.

7. Інтеграція з іншими програмними застосунками - важлива функція, яка допомагає вбудовувати нашу програму в інші програмні застосунки. Переваги інтеграції розпізнавання емоцій обличчя з іншими програмними додатками включають: підвищення точності збору даних, більш детальне розуміння поведінки та уподобань користувачів, покращення клієнтського досвіду та залучення.

8. Доступ до використання - визначає доступ до функціоналу системи. Безкоштовні послуги доступні будь-кому, тоді як платні послуги вимагають оплати перед використанням.

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз існуючих рішень

	<i>Morphcast</i>	<i>FaceReader Noldus</i>	<i>Face ++</i>	<i>FaceReader Online</i>
Розпізнавання емоції на фото	+	+	+	+
Розпізнавання емоції на відео	+	+	+	+

Продовження таблиці 1.1

Аналіз емоцій у реальному часі	+	-	+	+
Визначення емоції кількох людей в одному кадрі	+	+	+	+
Кількість емоцій для класифікації	7	8	8	7
Визначення віку людини	+	+	+	-
Визначення статі людини	+	+	+	-
Можливість експорту даних в режимі реального часу	+	+	+	+
Інтеграція з іншими програмними застосунками	+	+	+	+
Доступ до використання	Платний (Безкоштовний доступ до демо-версії)	Платний (Безкоштовний доступ до демо-версії для аналізу емоції тільки на фото)	Платний доступ	Платний доступ

Провівши аналіз нейромережних застосунків Morpncast, FaceReader Noldus, Face ++, FaceReader Online. Всі системи можуть розпізнавати емоції і на фото, і на відео, але FaceReader Noldus не може розпізнавати емоцію обличчя в режимі реального часу. Також вони мають можливість визначати емоції кількох людей в одному кадрі. Нейромережні застосунки Morpncast, FaceReader Noldus, Face ++ також мають додаткову функцію визначення віку та статі людини. Всі системи мають можливість експортувати дані в режимі реального часу, що є перевагою при інтегруванні систем в інші програмні застосунки. Щодо оплати, всі вказані платформи мають тарифи, але Morpncast та FaceReader Noldus мають

безкоштовний доступ до демо-версії, але нейромережний застосунок Morphcast має доступ до всіх вказаних функцій у безкоштовній версії, коли FaceReader Noldus має доступ тільки до визначення емоцій по фото. Інші системи працюють тільки при покупці підписки.

Всі чотири платформи пропонують можливості розпізнавання обличчя та емоцій. Однак вони відрізняються за типом використовуваної технології розпізнавання обличчя, функціями, які вони пропонують, і рівнем точності, якого вони можуть досягти.

Отже, у створеній системі буде перевагою включення функції безкоштовного доступу до використання користувачами.

1.3 Аналіз основних процесів розпізнавання емоцій людини

Система FER включає основні етапи, такі як попередня обробка зображень обличчя, вилучення і класифікація ознак.

Процес попередньої обробки

Попередня обробка - це процес, який може бути використаний для підвищення продуктивності системи FER і може виконуватись до процесу отримання ознак. Попередня обробка зображень включає різні типи процесів, такі як чіткість і масштабування зображення, налаштування контрастності та інші додаткові процеси для поліпшення якості вираження[2].

Процеси обрізання та масштабування виконуються на зображенні обличчя, в якому ніс обличчя сприймається за середню точку, а інші важливі компоненти обличчя включаються фізично. Для зменшення розміру зображення обличчя використовується дискретизація Бесселя, але вона захищає аспекти, а також перцептивну цінність оригінального зображення[8]. Фільтр Гауса використовується для зміни розміру вхідних зображень, що забезпечує плавність зображень.

Нормалізація - це метод попередньої обробки, який може бути розроблений для зменшення освітленості та варіацій зображень обличчя за допомогою медіанного фільтра. Також використовується для покращення зображення обличчя. Метод нормалізації забезпечує більшу чіткість вхідних зображень, а також використовується для вилучення положень очей, які роблять систему FER більш стійкою до індивідуальних відмінностей і забезпечують більшу чіткість вхідних зображень.

Локалізація є методом попередньої обробки та використовує алгоритм Віюлі-Джонса для виявлення зображень особи з вхідного зображення[9]. В основному використовується для визначення розміру та розташування обличчя на зображенні.

Вирівнювання обличчя також є методом попередньої обробки, який може бути виконаний за допомогою потокового алгоритму SIFT (Scale Invariant Feature Transform - масштабно-інваріантне перетворення ознак). Для цього спочатку обчислюється еталонне зображення для кожного виразу обличчя. Після цього всі зображення вирівнюються за допомогою відповідних еталонних зображень.

Сегментація ROI (Region of Interest) є одним з важливих видів методу попередньої обробки, який включає в себе три важливі функції, такі як регулювання розмірів обличчя шляхом поділу колірних компонентів і сегментація зображення обличчя, сегментація областей очей або чола і рота. У FER сегментація ROI найпопулярніша, тому що є зручною для сегментації частин обличчя з зображень.

Метод вирівнювання гістограм використовується для подолання варіацій освітленості. Цей метод в основному використовується для підвищення контрастності зображень обличчя і для точного освітлення, а також для поліпшення розрізнення інтенсивностей.

У FER використовується більше методів попередньої обробки, але процес сегментації ROI є більш придатним, оскільки він точно визначає частини обличчя, які в основному використовуються для розпізнавання виразу.

Процес виділення ознак

Процес виділення ознак є наступним етапом роботи системи FER. Виділення ознак - це пошук і відображення позитивних ознак на зображенні для подальшої обробки. В обробці зображень комп'ютерним зором виділення ознак є важливим етапом, на якому відбувається перехід від графічного до неявного представлення даних. Потім ці дані можуть бути використані як вхідні дані для класифікації[8]. Виділення ознак перетворює піксельні дані з області обличчя в більш високорівневе представлення форми, кольору, текстури і просторової конфігурації обличчя або його компонентів. Виділення ознак дозволяє зменшити розмірність вхідного простору, зберігаючи при цьому важливу інформацію. Виділення ознак є життєво важливим для формулювання більш сильної категоризації емоцій, оскільки виділені ознаки обличчя дають вхідні дані для модуля класифікації, який остаточно класифікує різні емоції.

Методи виділення ознак поділяються на п'ять типів: метод на основі текстурних ознак, метод на основі країв, метод на основі глобальних та локальних ознак, метод на основі геометричних ознак та метод на основі патчів.

Процес класифікації

Класифікація є завершальним етапом роботи системи FER, на якому класифікатор розподіляє вираз обличчя на такі категорії, як посмішка, сум, здивування, гнів, страх, відраза та нейтральний.

Навчання під контролем - це спосіб навчання системи з використанням мічених даних. Мічені дані виконують роль менеджера. Моделі надаються як вхідні, так і вихідні дані для навчання. Після цього модель робить прогноз для нової точки даних. Класифікація та регресія - це два типи керованого навчання.

Машина опорних векторів (SVM) є одним з відомих статистичних методів, що застосовується в машинному навчанні для аналізу даних, які використовуються для класифікації та багатовимірного аналізу. SVM використовує різні функції ядра для відображення даних у вхідному просторі.

Нейронна мережа (NN) виконує нелінійне зменшення вхідної розмірності. Вона робить статистичне визначення щодо категорії спостережуваного виразу.

Кожна вихідна одиниця оцінює ймовірність належності досліджуваного виразу до відповідної категорії[10].

Схема основних процесів розпізнавання емоцій людини зображена на рисунку 1.1.

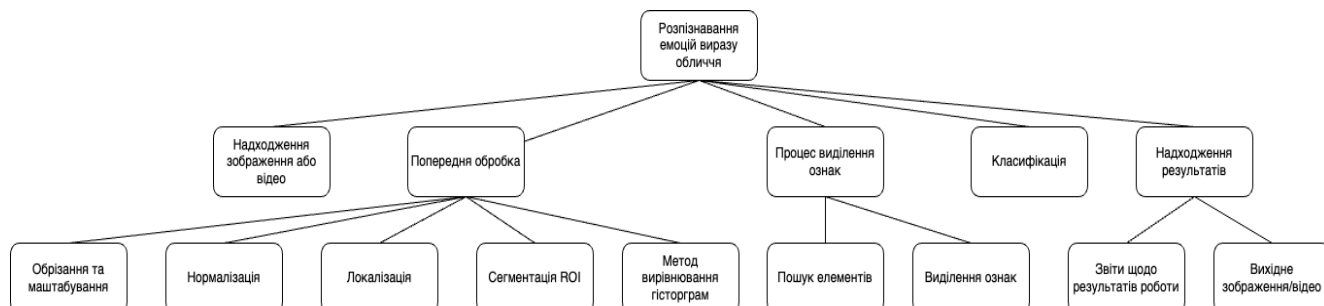


Рисунок 1.1 - Схема основних процесів розпізнавання емоцій людини

Основні зв'язки контекстної діаграми наведені на рисунку 1.2.

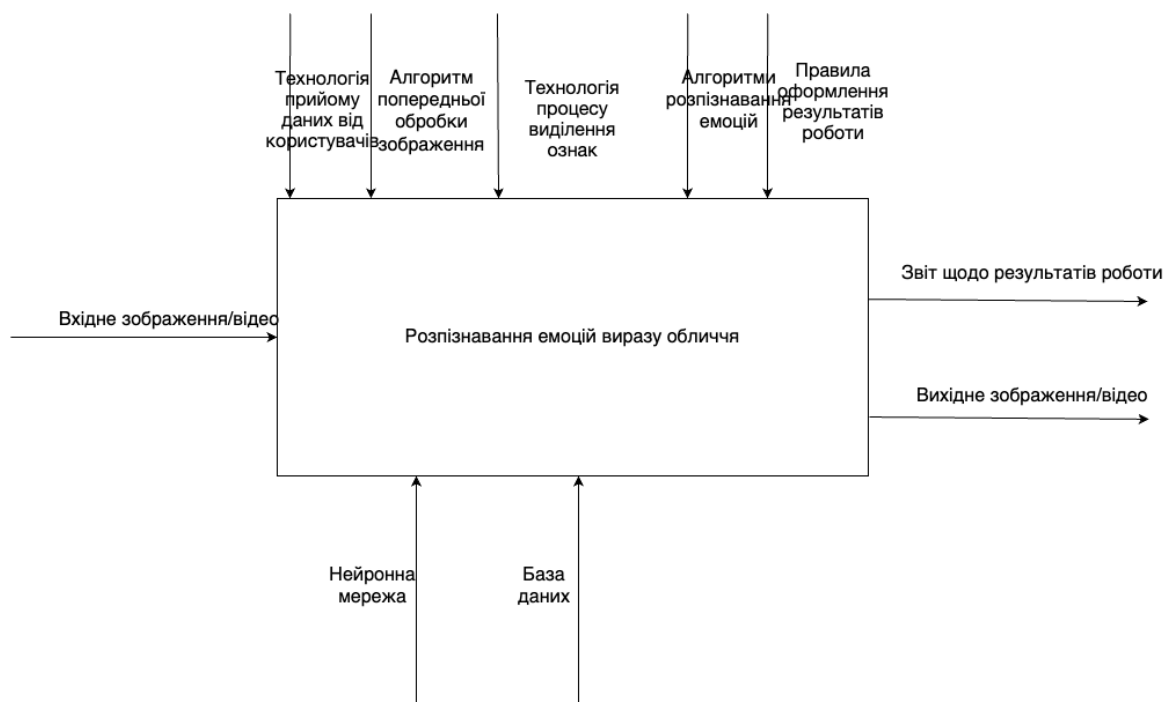


Рисунок 1.2 – Контекстна діаграма процесу «Розпізнавання емоцій людини»

Розглянемо контекстну діаграму процесу “Розпізнавання емоцій людини” ЯК Є, яка зображена на рисунку 1.2.

Основні зв'язки контекстної діаграми наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Опис зв'язків контекстної діаграми ЯК Є

Назва	Тип	Зовнішній об'єкт
-------	-----	------------------

Вхідне зображення/відео	Вхідна інформація	Користувач, який надіслав фото/відео
Звіт щодо результатів роботи	Вихідна інформація	Користувач програми, який отримав звіт про результати аналізу емоцій на зображенні/відео
Вихідне зображення/відео	Вихідна інформація	Користувач програми, який отримав вихідне зображення/відео з результатами аналізу емоцій

Декомпозицію контекстної діаграми процесу розпізнавання емоцій людини зображено на рисунку 1.3.

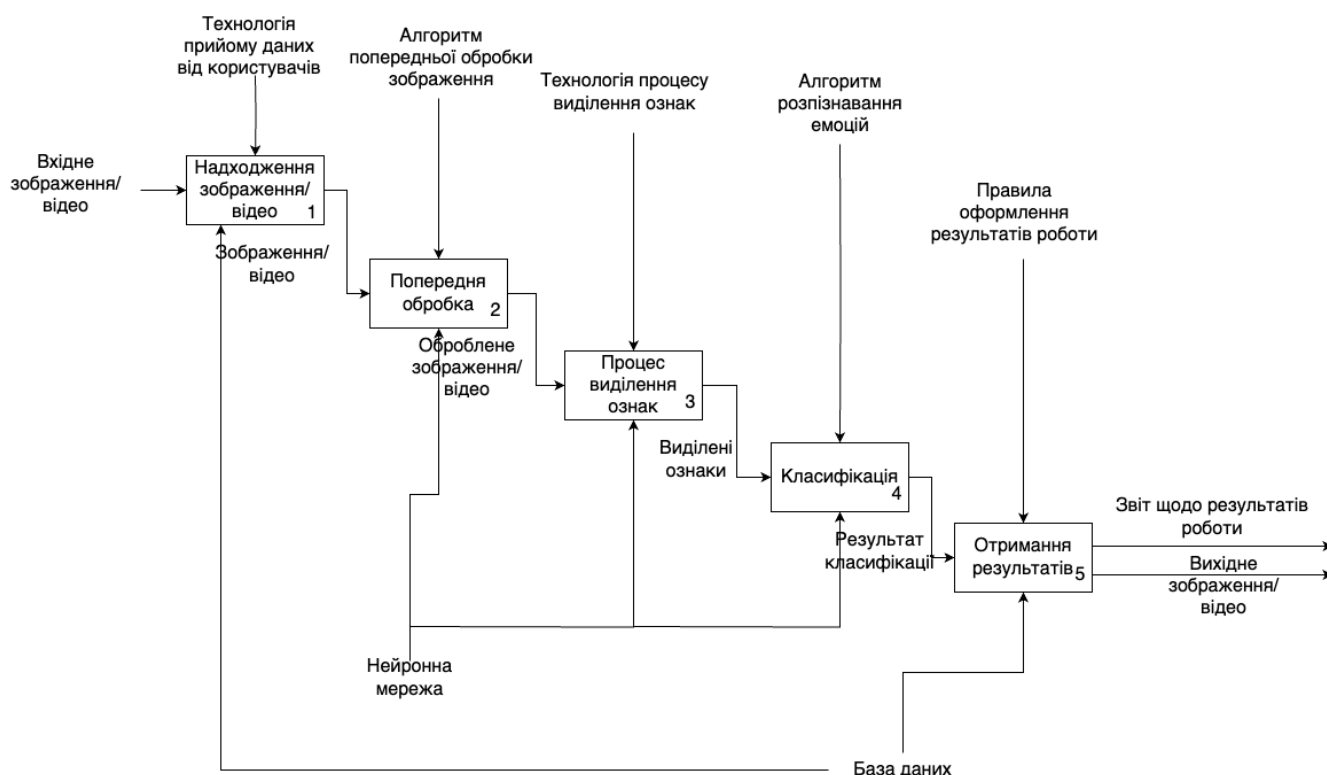


Рисунок 1.3 – Декомпозиція контекстної діаграми процесу «Розпізнавання емоцій людини»

Проведемо декомпозицію основних функцій діаграми ЯК Є. Даний бізнес процес складається з наступних бізнес процесів:

1. Надходження зображення

Вхідна інформація:

- Вхідне зображення/відео

Вихідна інформація:

- Зображення/відео

2. Попередня обробка

Вхідна інформація:

- Зображення/відео

Вихідна інформація:

- Оброблене зображення/відео

3. Процес виділення ознак

Вхідна інформація:

- Оброблене зображення/відео

Вихідна інформація:

- Виділені ознаки

4. Класифікація

Вхідна інформація:

- Виділені ознаки

Вихідна інформація:

- Результат класифікації

5. Отримання результатів

Вхідна інформація:

- Результат класифікації

Вихідна інформація:

- Звіт щодо результатів роботи

- Вихідне зображення/відео

1.4 Постановка задачі на розробку нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Функціональні вимоги

1. Здатність розпізнавати вираз обличчя людини на фото або відео.
2. Здатність розпізнавати основні людські емоції, такі як радість, смуток, гнів, страх, відраза та здивування.

3. Додаток повинен вміти розпізнавати емоції, навіть якщо на фото або відео немає очевидного або чіткого виразу обличчя.
4. Додаток повинен вміти розпізнавати емоції людей різної статі, віку та кольору шкіри.
5. Можливість визначення статі людини на зображенні або відео.
6. Можливість визначення віку людини на зображенні або відео.
7. Додаток повинен мати можливість надавати результати в реальному часі для фото або відео.
8. Додаток повинен мати точність не менше 75%.
9. Здатність розпізнавати складні емоції, такі як забава, відраза, збентеження, зацікавленість та розгубленість.
10. Здатність зберігати дані про історію розпізнавання емоцій користувача.
11. Здатність розрізняти декількох людей на фото/відео та визначати емоційний стан кожного користувача.
12. Додаток повинен мати можливість інтеграції з іншими додатками та пристроями.
13. Механізм, що дозволяє користувачеві встановлювати налаштування для того, які емоції додаток повинен розпізнавати.
14. Додаток повинен вміти обробляти декілька фотографій та відео одночасно.
15. Безпечна система зберігання та передачі даних для захисту конфіденційності даних користувача.
16. Додаток повинен підтримувати актуальну базу даних зображень облич та відеоданих.

Нефункціональні вимоги

1. Застосунок повинен мати сучасний та професійний дизайн.
2. Можливість забезпечити зручний та інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс.

3. Здатність забезпечити зручну навігацію та доступ до функцій та інформації веб-сайту.
4. Застосунок повинен бути сумісним з різними браузерами та пристроями.
5. Інтерфейс повинен бути доступний кількома мовами.

Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуто актуальність дослідження, особливості задачі розпізнавання емоцій людини, а також вже існуючі нейромережні застосунки розпізнавання емоцій людини.

Використання розпізнавання емоцій є досить популярним в сучасному світі. Завдяки широкому діапазону застосувань розпізнавання виразу обличчя привернуло значну увагу у галузі комп'ютерного зору, на даний момент уже є багато інформаційних систем, в яких використовується система розпізнавання емоцій. Вони використовують технологію комп'ютерного зору для аналізу виразу обличчя та ідентифікації емоцій. Ці системи використовують комбінацію зображень або відеозаписів, алгоритмів машинного навчання та програмного забезпечення для розпізнавання облич для обробки та інтерпретації виразу обличчя. Потім система може інтерпретувати вираз обличчя і надати відповідні емоції на основі отриманих даних. Однією з переваг власної системи буде безкоштовний доступ до її використання.

Було проведено аналіз основних процесів розпізнавання емоцій людини з точки зору інструментів штучного інтелекту. Розпізнавання емоцій обличчя включає кілька етапів, зокрема попередню обробку вхідного зображення, виділення ознак і класифікацію. Попередня обробка включає видалення шуму із зображення. Виділення ознак включає ідентифікацію рис обличчя на зображенні,

таких як очі, рот, ніс тощо. Класифікація передбачає використання алгоритму для класифікації емоцій, пов'язаних з обличчям на зображенні.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ

2.1 Розробка архітектури системи розпізнавання емоцій людини

2.1.1 Функціональний аналіз системи

Наведемо опис процесів для карти процесів Робота ІС "Розпізнавання емоцій людини":

Реєстрація користувача:

Занесення даних користувача в БД: Цей процес включає в себе збір та занесення інформації про користувача в базу даних (БД), таку як прізвище, ім'я, контактні дані тощо.

Занесення логіну користувача: Цей процес включає в себе зберігання логіну користувача в БД, який буде використовуватись для авторизації.

Занесення email користувача: Цей процес включає в себе зберігання email користувача в БД, який буде використовуватись для повідомлень та сповіщень.

Занесення паролю користувача: Цей процес включає в себе зберігання захищеного пароля користувача в БД, який буде використовуватись для авторизації.

Авторизація користувача: Цей процес передбачає перевірку введеного користувачем логіну та паролю, після чого користувач матиме доступ до системи.

Надходження зображення: Цей процес передбачає надходження вхідного зображення в систему, яке буде використовуватись для розпізнавання емоцій.

Попередня обробка даних включає наступні етапи:

Обрізання та масштабування: вихідне зображення або відео можуть мати різні розміри та пропорції, тому необхідно обрізати зображення та масштабувати його до одного стандартного розміру. Це допоможе нормувати дані та спростити подальші обчислення.

Нормалізація: зображення часто містять різні забарвлення та освітлення, тому необхідно провести їх нормалізацію. Наприклад, можна використати методи видалення шуму, вирівнювання освітлення, корекції кольору тощо.

Локалізація: на зображенні може бути багато різних об'єктів, але для розпізнавання емоцій людини необхідно виділити область, що містить обличчя. Тому необхідно провести локалізацію обличчя на зображенні.

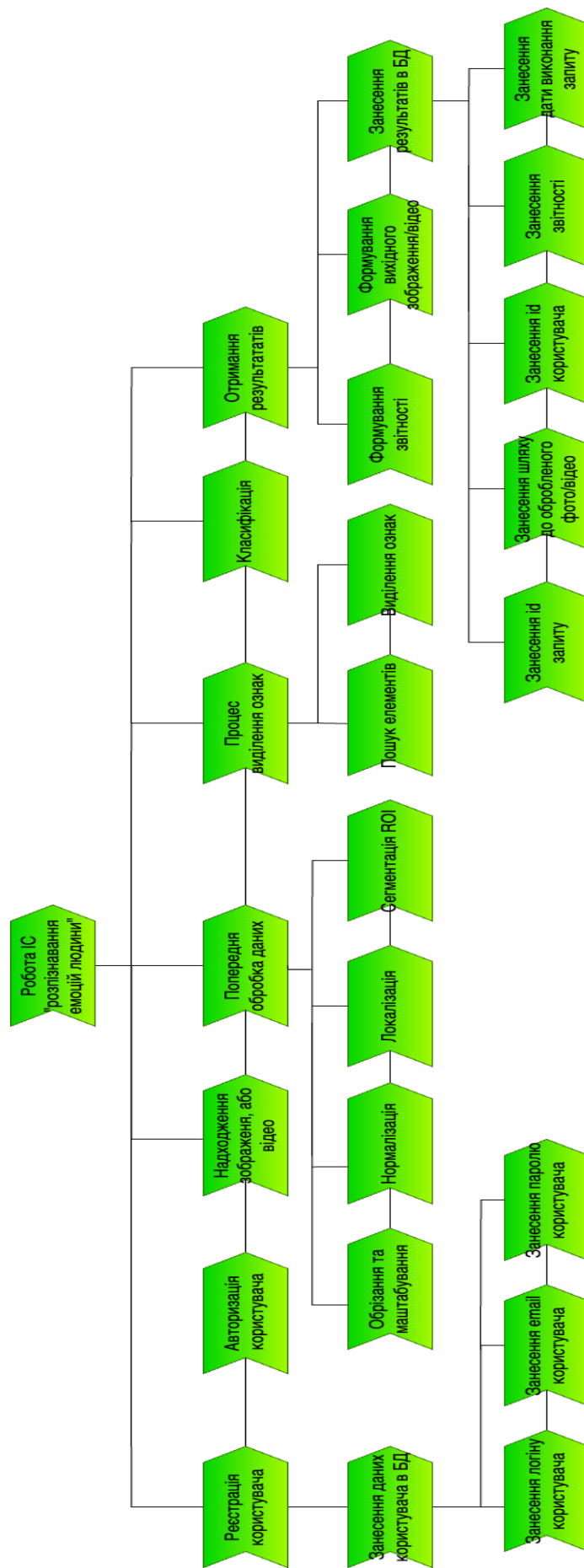
Сегментація ROI: після локалізації обличчя необхідно виокремити зображення лиця та виділити ті частини, які будуть використовуватись для подальшого розпізнавання емоцій. Наприклад, можуть бути виділені очі, брови, ніс, рот тощо.

Процес виділення ознак - на цьому етапі система шукає певні ознаки на зображенні, які допоможуть в класифікації емоції. Для цього можуть використовуватись різні методи, наприклад, аналіз текстур шкіри, визначення форми губ та очей, аналіз положення та форми брів тощо.

Класифікація: у цьому процесі система використовує навчальну модель, щоб класифікувати емоції на зображенні або відео. Модель може використовувати різні методи класифікації, такі як нейронні мережі або машинне навчання.

Надходження результатів: після класифікації система формує звітність, яка містить інформацію про виявлені емоції та їх ймовірності. Крім того, система формує вихідне зображення, на якому відображені виділені ROI з емоційними ознаками та позначеннями класів емоцій. Результати також заносяться в базу даних для подальшого аналізу та використання.

Карта процесів нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини зображена на рисунку 2.1.



2.1.2 Аналіз процесу розпізнавання емоцій людини

Для забезпечення ефективності та точності роботи системи розпізнавання емоцій, ми додали до цієї схеми документацію з мови програмування Python для керування процесами та взаємодії з апаратним забезпеченням. Також, механізми класифікатора Хаара були додані до процесу виділення ознак, що дозволило покращити якість розпізнавання емоцій на зображеннях. В результаті, ми отримали більш точну та ефективну систему, яка здатна розпізнавати емоції людей на зображеннях.

Основні зв'язки контекстної діаграми ЯК БУДЕ наведені на рисунку 2.2.

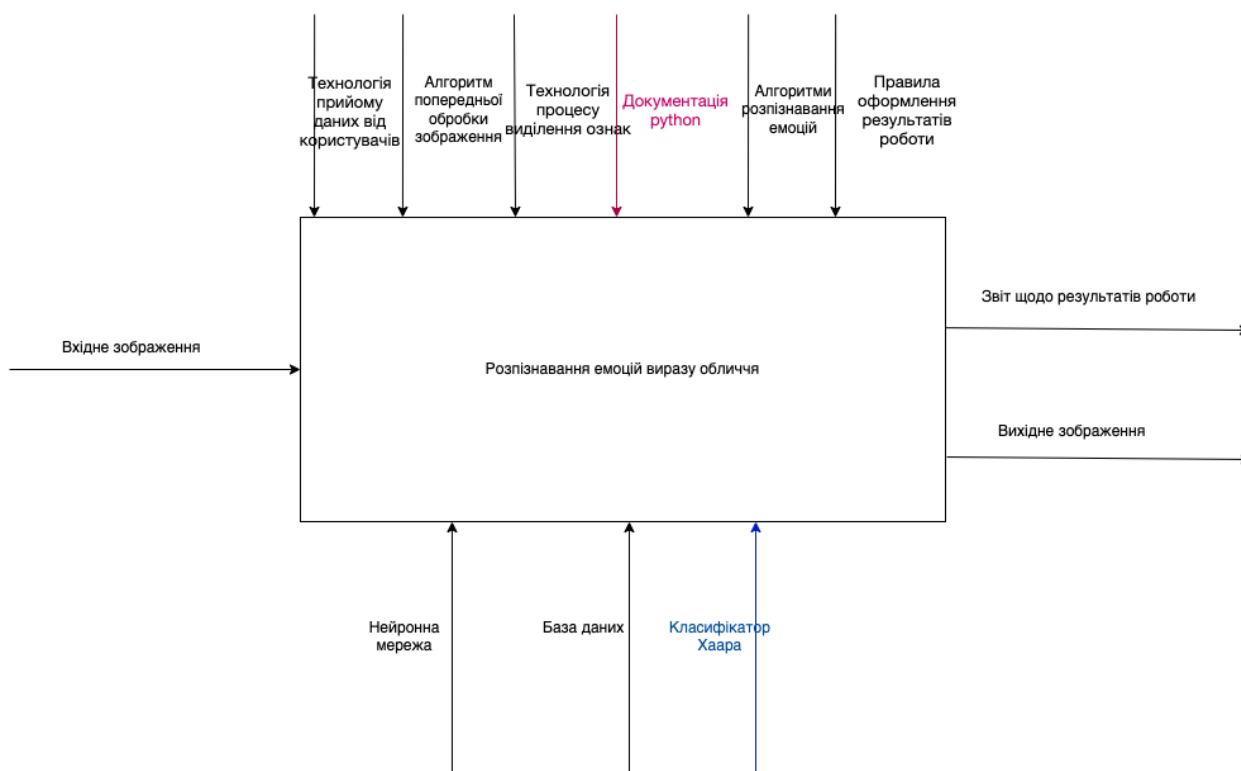


Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма ЯК БУДЕ процесу «Розпізнавання емоцій людини»

Декомпозицію контекстної діаграми ЯК БУДЕ процесу розпізнавання емоцій людини зображено на рисунку 2.3.

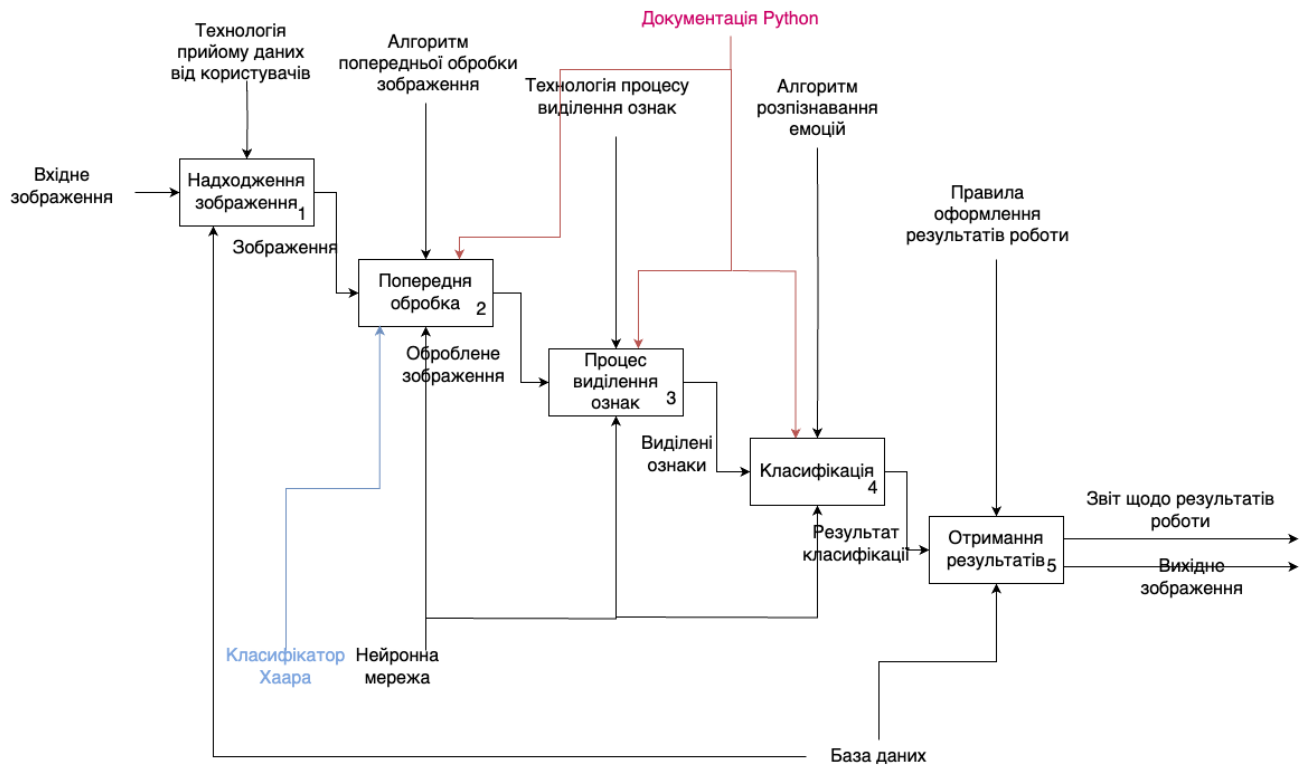


Рисунок 2.3 – Декомпозиція контекстної діаграми ЯК БУДЕ процесу
«Розпізнавання емоцій людини»

2.1.3 Архітектура нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Архітектуру нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини зображено на рисунку 2.4.

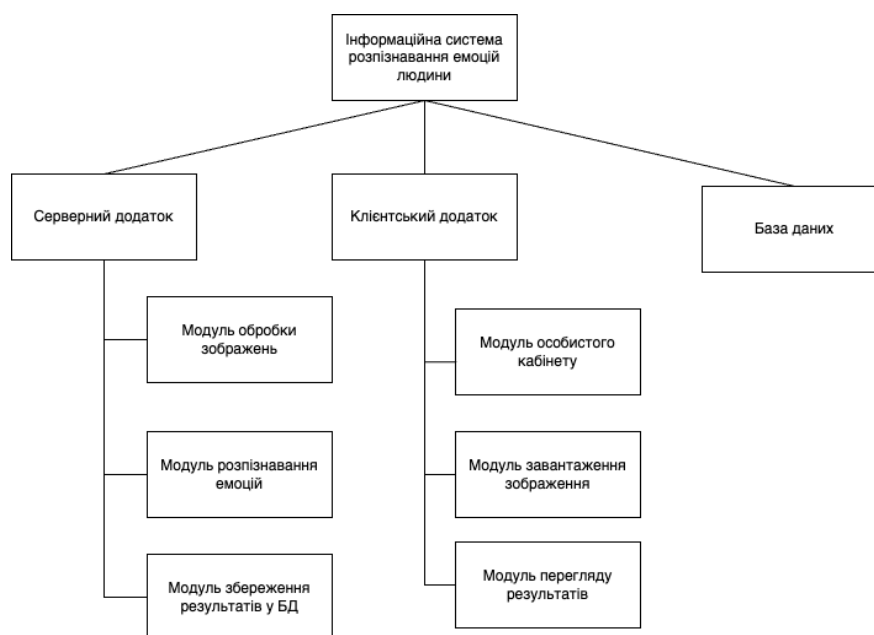


Рисунок 2.4 – Архітектура нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Архітектура нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини складається з трьох основних компонентів: серверного додатку, клієнтського додатку та бази даних (БД).

Серверний додаток

Серверний додаток є головним компонентом архітектури нейромережного застосунку. Його завдання - обробка зображень та розпізнавання емоцій на них. Серверний додаток складається з трьох модулів:

Модуль обробки зображень. Цей модуль відповідає за обробку зображень, що надходять від клієнтського додатку. Він перевіряє, чи є зображення прийнятним для аналізу (наприклад, відповідає необхідним розмірам та формату), а потім передає його до модуля розпізнавання емоцій.

Модуль розпізнавання емоцій. Цей модуль відповідає за розпізнавання емоцій на зображенні. Він використовує навчальні алгоритми та машинне навчання для визначення емоційних станів людини на фотографії. Результатом роботи цього модуля є набір емоцій, які були виявлені на зображенні.

Модуль збереження результатів у БД. Цей модуль зберігає результати роботи модуля розпізнавання емоцій у базу даних. Кожне зображення, що було оброблено, має відповідний запис у БД з визначеними на ньому емоціями.

Клієнтський додаток

Клієнтський додаток - це програмний продукт, який використовується користувачем для взаємодії з серверним додатком та БД. Клієнтський додаток також складається з трьох модулів:

Модуль особистого кабінету. Цей модуль надає користувачеві можливість створити свій особистий кабінет та переглянути результати розпізнавання емоцій, які були збережені у БД. В особистому кабінеті користувач може також редагувати свій профіль, змінювати пароль тощо.

Модуль завантаження зображення. Цей модуль надає користувачеві можливість завантажити зображення на сервер для подальшого аналізу та розпізнавання емоцій.

Модуль перегляду результатів. Цей модуль надає користувачеві можливість переглянути результати розпізнавання емоцій, які були збережені у БД. Користувач може переглядати результати для кожного зображення окремо або для всіх зображень разом.

База даних

База даних є основним елементом архітектури інформаційної системи. Вона зберігає дані про всі зображення, що були завантажені на сервер, а також результати розпізнавання емоцій для кожного зображення. Клієнтський додаток та модуль збереження результатів у БД серверного додатку забезпечують взаємодію з базою даних.

2.2 Вибір та обґрунтування методу класифікатора Хаара для розпізнавання обличчя та нейронної мережі CNN для розпізнавання емоцій людини

Для розпізнавання обличчя на зображенні був обраний метод класифікатора Хаара. Виявлення об'єктів за допомогою каскадних класифікаторів на основі ознак Хаара є ефективним методом виявлення об'єктів, запропонованим Полом Віолою та Майклом Джонсом[18] у їхній фундаментальній роботі "Швидке виявлення об'єктів за допомогою прискореного каскаду простих ознак" у 2001 році. Це підхід, заснований на машинному навчанні, де каскадна функція тренується на великій кількості позитивних і негативних зображень. Потім вона використовується для виявлення об'єктів на інших зображеннях.

Алгоритм виявлення потребує великої кількості позитивних зображень (зображень з обличчями) і негативних зображень (зображень без облич) для навчання класифікатора. Потім потрібно виділити з них ознаки. Для цього використовуються ознаки Хаара, що зображені на рисунку 2.5.

Вони схожі на наше згорткове ядро. Кожна ознака - це єдине значення, отримане шляхом віднімання суми пікселів під білим прямокутником від суми пікселів під чорним прямокутником.

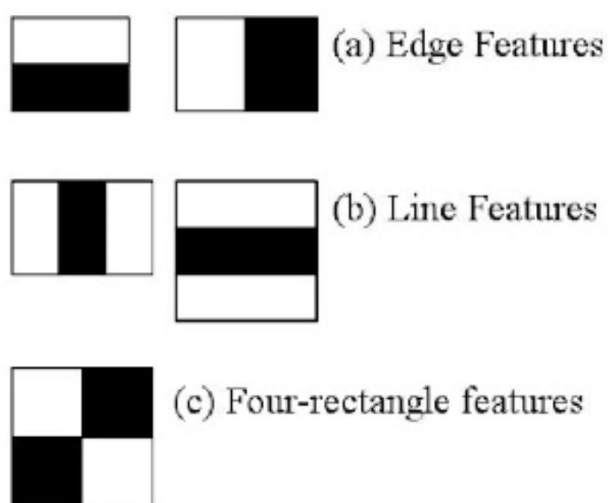


Рисунок 2.5 - Ознаки Хаара

Тепер всі можливі розміри та розташування кожного ядра використовуються для розрахунку великої кількості елементів. Навіть вікно 24*24 дає більше 160000 елементів[18].

Для розрахунку кожного елемента потрібно знайти суму пікселів під білими та чорними прямокутниками. Для вирішення цієї проблеми Віола і Джонс ввели поняття "інтегральних зображень". Воно спрощує обчислення суми пікселів, якою б великою не була кількість пікселів, до операції, що включає лише чотири пікселі. Це робить обчислення швидкими.

На рисунку 2.6 у верхньому рядку показано дві хороші ознаки. Перша обрана ознака фокусується на тій властивості, що область очей часто темніша, ніж область носа та щік. Друга обрана ознака спирається на ту властивість, що очі темніші за перенісся. Однак, ті ж самі вікна, нанесені на щоки або будь-яке інше місце, не мають ніякого значення.

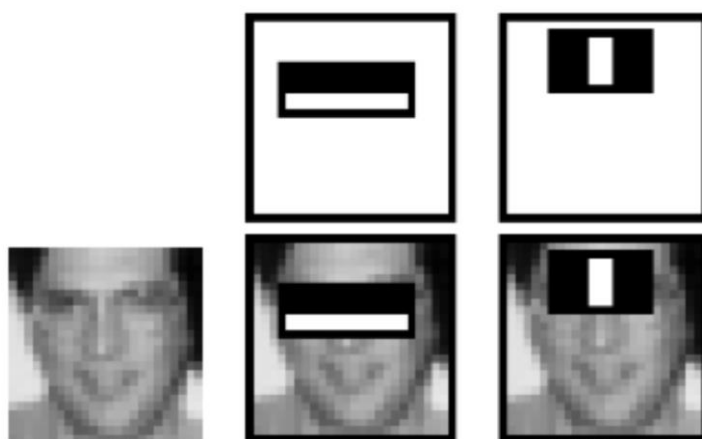


Рисунок 2.6 - Приклад роботи метода Хаара

Кожну ознаку ми застосовуємо до всіх навчальних зображень. Для кожної ознаки він знаходить найкращий поріг, який класифікує обличчя на позитивні та негативні. Але будуть і помилкові класифікації.

Ми відбираємо ознаки з мінімальним рівнем помилок, тобто ті, які найкраще класифікують зображення обличчя і не обличчя. Цей процес відбувається наступним чином. Кожному зображенню на початку надається рівна вага. Після кожного кроку класифікації ваги невірно класифікованих зображень збільшуються. Потім знову повторюється той самий процес,

обчислюються нові коефіцієнти помилок і нові ваги. Процес продовжується до тих пір, поки не буде досягнута необхідна точність або рівень помилок, або не буде знайдено необхідну кількість ознак.

Остаточний класифікатор є зваженою сумою цих слабких класифікаторів. Класифікатори називаються слабкими тому, що вони окремо не можуть класифікувати зображення, але разом можуть сформувати дуже потужний класифікатор.

Початкова робота Віоли і Джонса включала 200 ознак, і це дало 95% точності. Остаточний варіант налічував близько 6000 ознак (зменшення з 160000+ ознак)[18].

Вилучення ознак з обличчя і класифікацію емоцій буде виконувати за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN). Згорткова нейронна мережа (CNN або convnet) - це підмножина машинного навчання[19]. Це один з різних типів штучних нейронних мереж, які використовуються для різних застосувань і типів даних. CNN є різновидом мережевої архітектури для алгоритмів глибокого навчання і спеціально використовується для розпізнавання зображень і завдань, які передбачають обробку піксельних даних.

CNN - це ще один тип нейронної мережі, яка може виявити ключову інформацію як у часових рядах, так і в даних зображень. З цієї причини вона є дуже цінною для завдань, пов'язаних із зображеннями, таких як розпізнавання зображень, класифікація об'єктів і розпізнавання образів. Для виявлення закономірностей на зображенні CNN використовує принципи лінійної алгебри, такі як множення матриць. CNN також можуть класифікувати аудіо та сигнальні дані.

Архітектура CNN аналогічна структурі зв'язків людського мозку. Подібно до того, як мозок складається з мільярдів нейронів, CNN також мають нейрони, розташовані певним чином. Фактично, нейрони CNN розташовані подібно до лобової частки мозку, області, що відповідає за обробку зорових стимулів. Таке розташування забезпечує охоплення всього поля зору, що дозволяє уникнути проблеми фрагментарної обробки зображень, властивої традиційним нейронним

мережам, яким необхідно подавати зображення частинами зі зниженою роздільною здатністю. У порівнянні зі старими мережами, CNN забезпечує кращу продуктивність при подачі зображень, а також при подачі мовних або аудіосигналів.

CNN з глибоким навчанням складається з трьох шарів: згорткового шару, шару об'єднання та повністю пов'язаного (FC) шару, що зображені на рисунку 2.7. Згортковий шар є першим шаром, а шар FC - останнім.

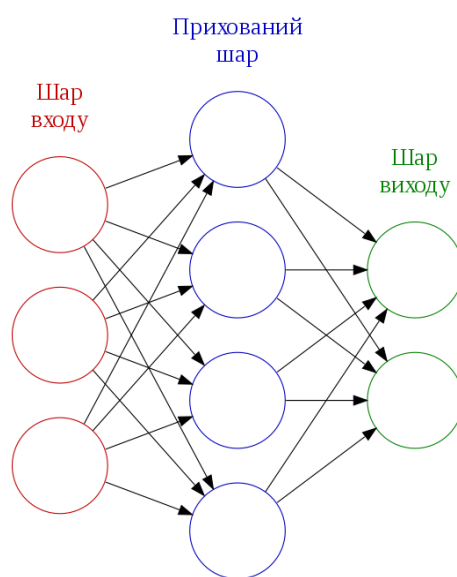


Рисунок 2.7 - Архітектура мережі CNN

Від згорткового шару до шару FC складність CNN зростає. Саме ця зростаюча складність дозволяє CNN послідовно ідентифікувати більші частини і більш складні особливості зображення, поки вона, нарешті, не ідентифікує об'єкт у повному обсязі.

Згортковий шар. Більшість обчислень відбувається в згортковому шарі, який є основним будівельним блоком CNN. Другий згортковий шар може слідувати за початковим згортковим шаром. Процес згортки включає в себе ядро або фільтр всередині цього шару, який рухається по сприйнятливих полях зображення, перевіряючи, чи присутня ознака на зображенні.

За декілька ітерацій ядро охоплює все зображення. Після кожної ітерації обчислюється точковий добуток між вхідними пікселями і фільтром. Кінцевий результат із серії точок називається картою ознак або згорнутою ознакою.

Зрештою, зображення перетворюється в числові значення в цьому шарі, що дозволяє CNN інтерпретувати зображення і витягувати з нього відповідні закономірності.

Шар об'єднання. Як і шар згортки, шар об'єднання також проводить ядро або фільтр по входному зображенню. Але на відміну від шару згортки, шар об'єднання зменшує кількість параметрів на вході і також призводить до певних втрат інформації. Це робиться для зменшення обчислень, необхідних для обробки даних та виділення домінуючих ознак, які є інваріантними щодо обертання та положення. Існує два типи об'єднання, а саме: максимальне об'єднання та середнє об'єднання. Максимальне об'єднання повертає максимальне значення з частини зображення, що покривається ядром, тоді як середнє об'єднання повертає середнє з відповідних значень. На рисунку 2.8 показано результати, отримані при виконанні максимального та середнього об'єднання зображень.

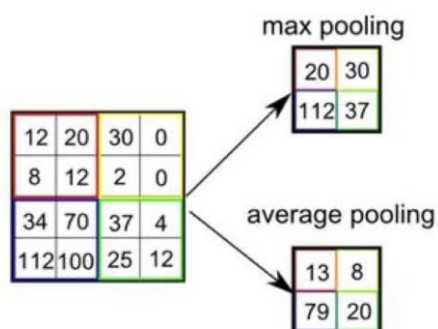


Рисунок 2.8 - Максимальний та середній виходи об'єднання для зображення

Повнозв'язний шар. У шарі FC відбувається класифікація зображень у CNN на основі ознак, виділених у попередніх шарах. Тут повністю з'єднаний означає, що всі входи або вузли одного шару з'єднані з кожним блоком активації або вузлом наступного шару. Цей шар знаходиться в кінці CNN. У цьому шарі вхід з попереднього шару сплющується в одновимірний вектор і для отримання виходу застосовується функція активації.

Всі шари в CNN не є повністю з'єднаними, тому що це призвело б до надмірно щільної мережі. Це також збільшило б втрати і вплинуло б на якість вихідного сигналу, а також було б дорогим в обчислювальному плані.

Відсів використовується для уникнення перенавчання. Перенавчання в моделі відбувається тоді, коли точність навчання значно перевищує точність тестування. Відсів - це ігнорування нейронів під час навчання, тобто вони не враховуються під час певного прямого або зворотного проходу, що призводить до скорочення мережі. Ці нейрони вибираються випадковим чином, і приклад показаний на рисунку 2.9. Коефіцієнт відсіву - це ймовірність навчання даного вузла в шарі, де 1.0 означає відсутність відсіву, а 0.0 означає, що всі виходи з шару ігноруються.

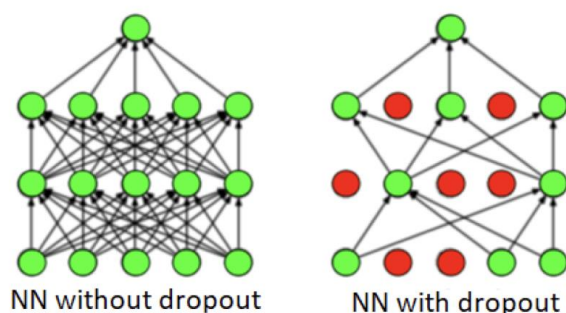


Рисунок 2.9 - Відсів в NN

Навчання мережі є більш ефективним, коли розподіл входів шарів однаковий. Варіації в цих розподілах можуть зробити модель зміщеною. Пакемна нормалізація використовується для нормалізації входів шарів.

Softmax та експоненціальна лінійна одиниця (ELU) є функціями активації, які зазвичай використовуються в CNN. Функція softmax задається формулою (2.1):

$$\frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \quad (2.1)$$

де z_i - вхідні значення;

K - кількість вхідних значень.

Ця функція перетворює дійсні числа у ймовірності, оскільки вона гарантує, що вихідні значення дорівнюють 1 і знаходяться в діапазоні від 0 до 1. Softmax

використовується в повністю пов'язаному шарі запропонованих моделей, тому результати можуть бути інтерпретовані як розподіл ймовірностей для семи емоцій. Функція ELU представлена формулою (2.2):

$$\begin{cases} x, & \text{if } x > 0 \\ \alpha (e^x - 1), & \text{if } x \leq 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

де x - вхідне значення;

α - нахил.

Ця функція зростає до від'ємного значення, коли α є від'ємним, а α контролює зростання. Це зменшує інформацію, що передається на наступний рівень.

CNN може мати декілька шарів, кожен з яких навчається виявляти різні особливості вхідного зображення. До кожного зображення застосовується фільтр або ядро для отримання результату, який стає дедалі кращим і детальнішим після кожного шару. У нижніх шарах фільтри можуть починатися з простих елементів.

На кожному наступному шарі фільтри ускладнюються, щоб перевірити та ідентифікувати ознаки, які однозначно представляють вхідний об'єкт.

Частково розпізнане зображення після кожного шару стає вхідними даними для наступного шару. В останньому шарі, який є шаром FC, CNN розпізнає зображення або об'єкт, який воно представляє таким чином, вихід кожного згорнутого зображення.

Під час згортки вхідне зображення проходить через набір цих фільтрів. Оскільки кожен фільтр активує певні ознаки зображення, він виконує свою роботу і передає свій вихід на фільтр наступного шару. Кожен шар вчиться ідентифікувати різні особливості, і операції в кінцевому підсумку повторюються для десятків, сотень або навіть тисяч шарів. Нарешті, всі дані зображення, що проходять через численні шари CNN, дозволяють CNN ідентифікувати весь об'єкт.

Ця архітектура буде використана для класифікації семи емоцій людини: щастя, нейтральний, сум, гнів, здивування, відраза, страх. Модель CNN навчається на напівтонових зображеннях з набору даних FER 2013 року для

класифікації висловлювань за цими емоціями. Це набір даних з відкритим вихідним кодом, який був створений для проекту, а потім викладений у відкритий доступ для участі в конкурсі Kaggle. Він складається з 35 000 зображень облич у відтінках сірого розміром 48×48 з різними мітками емоцій. Для підвищення точності та уникнення перенавчання моделі використовується пакетна нормалізація та відсів. Найкращі параметри моделі визначаються з урахуванням результатів навчання.

2.3 Інформаційне забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Концептуальна модель БД зображена на рисунку 2.10.

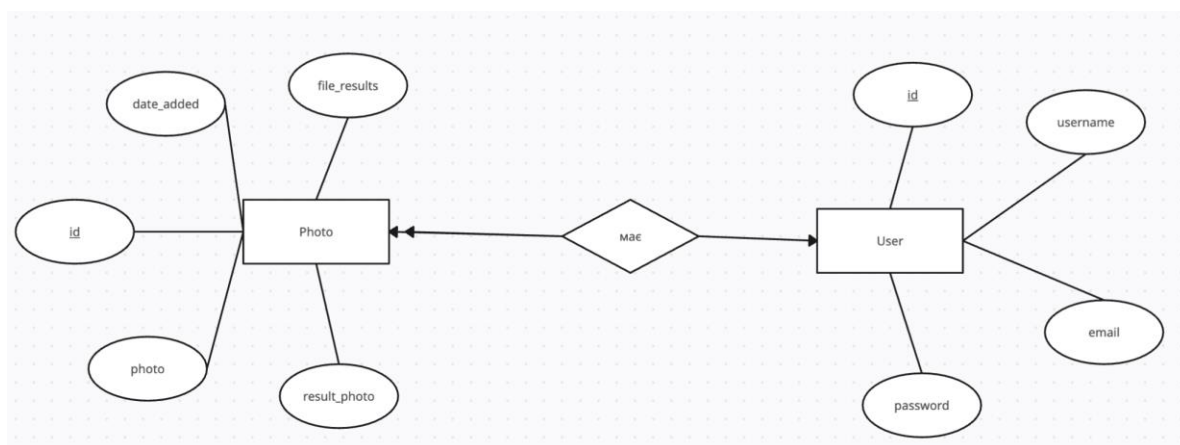


Рисунок 2.10 - Концептуальна модель

Сутність User (користувач) включає наступні поля:

id (ідентифікатор) - унікальний ідентифікатор користувача в БД;

username (ім'я користувача) - ім'я, яке використовує користувач для входу в систему;

email (електронна пошта користувача) - електронна адреса, пов'язана з акаунтом користувача;

password (пароль користувача) - хеш пароля користувача, який зберігається в БД;

Сутність Photo (фотографія) містить наступні поля:

- id (ідентифікатор) - унікальний ідентифікатор фотографії в БД;
- photo (зображення фотографії) - зображення, яке завантажив користувач;
- result_photo (зображення обробленої фотографії) - зображення, яке було оброблено (наприклад, змінено розмір або застосовано ефект);
- date_added (дата додавання) - дата, коли фотографія була завантажена;
- file_results (файл з результатами обробки) - додатковий файл, який може містити додаткову інформацію про обробку фотографії.

Крім того, у нас є один зв'язок:

Кожен користувач може мати багато фотографій, тому між сутностями User та Photo існує зв'язок один-до-багатьох (one-to-many). Це означає, що один користувач може мати багато фотографій, але кожна фотографія має лише одного автора (користувача);

Кожна фотографія має одного автора, тому між сутностями Photo та User існує зв'язок багато-до-одного (many-to-one). Це означає, що багато фотографій можуть бути прив'язані до одного користувача.

Побудуємо таблицю для опису складу та характеристики атрибутів логічної моделі:

Таблиця 2.1 - Опис складу та характеристики атрибутів логічної моделі.

Сутність	Назва атрибуту	Ключ	Обов'язков е значення	Тип даних	Обмеження
User	user_id	PK	Так	Ціле число	Унікальний ідентифікатор користувача в БД
	username		Так	Текст	Максимальна довжина 150 символів
	email		Так	Текст	Максимальна довжина 254 символи, формат електронної пошти
	password		Так	Текст	Максимальна довжина 128 символи

Продовження таблиці 2.1

Photo	photo_id	PK	Так	Ціле число	Унікальний ідентифікатор фото в БД
	photo		Так	Текст	Максимальна довжина 100 символів
	result_photo		Ні	Текст	Максимальна довжина 100 символів
	date_added		Так	Дата та час	Дата, коли фотографія була завантажена
	file_results		Ні	Текст	Максимальна довжина 100 символів
	author_id	FK	Так	Ціле число	Ідентифікатор автора фотографії в таблиці користувачів (зв'язок з сутністю User)

Логічна модель БД зображена на рисунку 2.11.

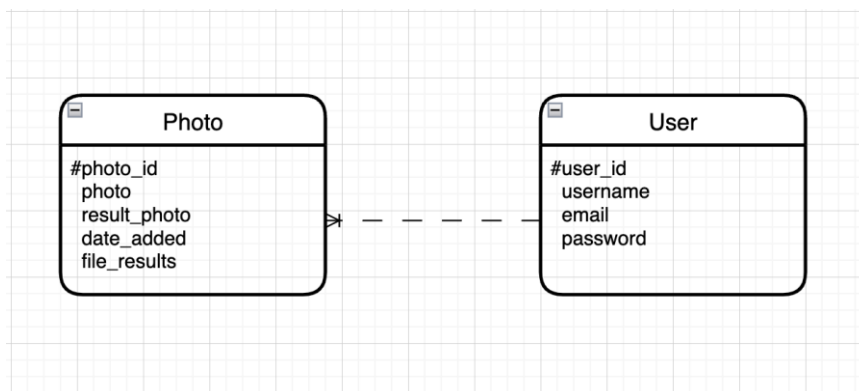


Рисунок 2.11 - Логічна модель

Модель містить дві сутності, кожна з яких містить назву сутності та атрибути. Перша сутність Photo має такі атрибути: photo_id, photo, result_photo, date_added та file_results. Друга сутність User містить атрибути: user_id, username, email та password. Сутності зв'язані між собою, що показано стрілкою від User до Photo, що вказує на те, що кожна фотографія належить конкретному користувачеві.

Для перетворення логічної моделі в фізичну модель необхідно додати зовнішні ключі для забезпечення зв'язку між сутностями в базі даних.

Отже, у фізичній моделі до сутності Photo додамо зовнішній ключ user_id, що буде посилатися на атрибут user_id сутності User. Цей зовнішній ключ забезпечує зв'язок між сутностями та дозволяє здійснювати операції, такі як отримання всіх фотографій, які належать конкретному користувачеві.

Де PK - Primary Key (Первинний ключ), FK - Foreign Key (Зовнішній ключ). Зовнішній ключ user_id таблиці Photo посилається на первинний ключ user_id таблиці User, що забезпечує зв'язок між цими двома таблицями.

Фізична модель БД зображена на рисунку 2.12.

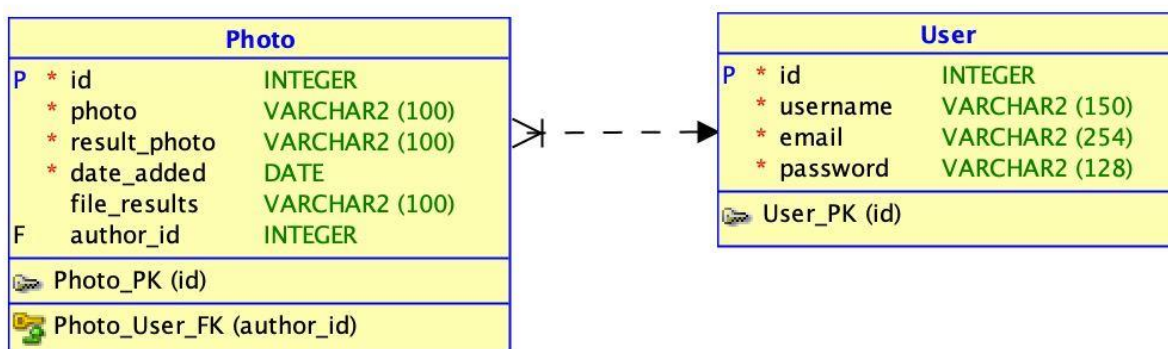


Рисунок 2.12 - Фізична модель

Висновок до розділу 2

У другому розділі нашої роботи ми провели докладний функціональний аналіз системи розпізнавання емоцій людини та розробили IDEF0 процесу розпізнавання емоцій. Це дозволило нам визначити всі можливі функції та операції, необхідні для правильної роботи системи розпізнавання емоцій.

Було обрано метод класифікатора Хаара для розпізнавання обличчя та нейронну мережу CNN для розпізнавання емоцій людини, і обґрунтовано цей вибір.

Для забезпечення інформаційного забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини ми розробили концептуальну, логічну та фізичну моделі бази даних. Концептуальна модель дозволила нам визначити всі сутності та їх зв'язки в системі, а логічна модель - показати, як ці сутності будуть зберігатися у базі даних.

Отже, в результаті нашої роботи у другому розділі ми розробили архітектуру нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини, обрали методи розпізнавання облич та емоцій, та розробили моделі бази даних для забезпечення інформаційного забезпечення застосунку. Всі ці кроки були важливі для успішної реалізації проекту та отримання якісного результату.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ЗАСТОСУНКУ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ

3.1 Обґрунтування вибору програмних засобів для реалізації нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Історично склалося так, що для проведення досліджень у галузі машинного навчання та розробки додатків використовувався широкий спектр різних мов програмування та середовищ. Однак, оскільки мова загального призначення Python за останнє десятиліття набула величезної популярності серед наукової комп'ютерної спільноти, більшість останніх бібліотек машинного навчання та глибокого навчання зараз базуються на Python, тому для роботи застосунку було обрано мову Python.

Python - це інтерпретована високорівнева мова програмування загального призначення. Вона має простий, але потужний синтаксис, який дозволяє ефективно писати як короткі скрипти, так і складні програми. Python має широкую спільноту розробників, що забезпечує велику кількість додаткових бібліотек та модулів. Це робить Python однією з найпопулярніших мов програмування на сьогоднішній день.[11].

Для роботи з масивами даних використовувалась бібліотека NumPy. NumPy - це основний пакет для наукових обчислень в Python. Він надає підтримку для масивів та матриць, що дозволяє виконувати розрахунки векторів та матриць у Python з високою швидкістю та ефективністю[12].

Для читання даних з датасету, та обробки даних було використано бібліотеку Pandas. Pandas - це бібліотека для обробки та аналізу даних у мові програмування Python. Вона надає зручні та потужні інструменти для роботи з даними у форматах таблиць, рядків та стовпців, які можуть бути збережені в різних форматах, таких як CSV, Excel, SQL або бази даних.[13].

Для відображення зображень була використана бібліотека Matplotlib. Matplotlib - це бібліотека для візуалізації даних у мові програмування Python.

Вона надає зручні та потужні інструменти для створення графіків, діаграм, гістограм, теплових карт, 3D-графіків та інших типів візуалізації даних[14].

Для побудови та навчання мережі використовується бібліотека TensorFlow. TensorFlow - це бібліотека з відкритим вихідним кодом для чисельних обчислень, що використовується для розв'язання завдань машинного навчання та глибинного навчання[15].

Високорівнева робота в TensorFlow - створення вузлів і шарів і зв'язування їх разом - використовує бібліотеку Keras[15]. API Keras зовні простий, базова модель з трьома шарами.

Для роботи з зображеннями було використано бібліотеку OpenCV. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) - це відкрита бібліотека комп'ютерного зору та машинного навчання, яка надає інструменти для роботи з зображеннями та відео. Вона розроблена для вирішення завдань комп'ютерного зору, таких як розпізнавання образів, відслідковування об'єктів, аналіз зображень та інше[16].

Для побудови графічного інтерфейсу було використано бібліотеку Django, який позиціонує себе як "високорівневий веб-фреймворк Python. Django - це відкритий фреймворк веб-розробки, написаний на мові Python. Він дозволяє швидко створювати складні веб-додатки з допомогою високої рівня абстракції та готових компонентів[17].

Scikit-learn - бібліотека для машинного навчання на мові Python, яка була використана в для відображення основних показників класифікації, та для обчислення матриці невідповідностей для оцінки точності класифікації[18].

PyCharm - середовище, яке було використано для розробки нейромережного застосунку. PyCharm - це інтегроване середовище розробки (IDE) для мови програмування Python. Воно надає багато інструментів, які допомагають розробникам швидко та ефективно розробляти, тестувати та налагоджувати свої програми[19].

3.2 Структура програмного забезпечення нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Структурна схема програмних модулів зображена на рисунку 3.1:

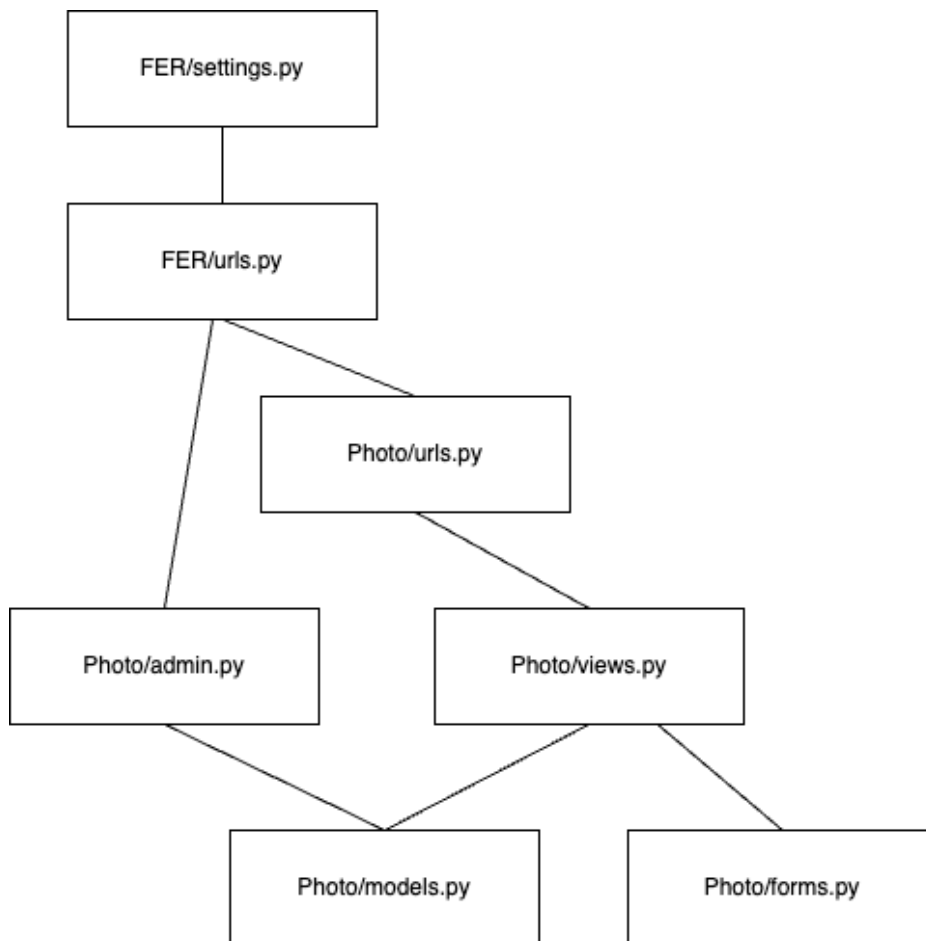


Рисунок 3.1 - Структурна схема програмних модулів

Специфікація програмних модулів нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Специфікація програмних модулів нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Модуль	Опис
FER/settings.py	<p>Файл settings.py - це основний файл конфігурації, який містить налаштування проекту, такі як підключення баз даних, шляхів до шаблонів, URL-адресування та багато іншого.</p> <p>В результаті було додано налаштування для медіа файлів та статичних файлів, щоб вказати Django, де вони знаходяться і як їх слід обробляти.</p>
FER/urls.py	<p>Файл urls.py відповідає за маршрутизацію запитів, тобто він визначає який код буде виконуватися при отриманні запитів на певні URL-адреси.</p> <p>У даному файлі ми додали до списку urlpatterns шлях (path) до головного застосунку нашого проекту.</p>
Photo/urls.py	<p>Файл urls.py є частиною проекту на Django і містить список шляхів (URL) для веб-застосунку. Кожен шлях відповідає функції-контролеру (views), яка повертає відповідь на запит з цього шляху.</p>
Photo/views.py	<p>Файл views.py в Django проекті містить код для обробки запитів, які надходять до сервера. Це файл, який відповідає за логіку сторінок та функціональність сайту.</p> <p>У процесі розробки проекту було додано функції та класи для обробки наступних запитів:</p> <p>index(request) - функція, яка повертає відповідь на запит GET для головної сторінки index.html.</p> <p>photo_form(request) - функція, яка дозволяє користувачеві завантажувати свої фотографії, обробляє їх за допомогою навченої моделі нейромережі та повертає результати на photo_form.html.</p> <p>softmax(z) - функція, що використовується у функції predict для обчислення значень функції softmax.</p> <p>predict(photo, photo_object) - функція, що отримує URL зображення та об'єкт зображення з моделі фото, виконує передбачення емоцій на зображенні, використовуючи модель нейромережі, та зберігає результати у форматі JSON.</p> <p>RegisterUser(CreateView) - клас, що дозволяє користувачам</p>

Продовження таблиці 3.1

	<p>реєструватися на сайті, відображає форму реєстрації та зберігає дані користувача в базі даних.</p> <p>LoginUser(LoginView) - клас, що дозволяє користувачам увійти на сайт, відображає форму авторизації та перенаправляє користувача на головну сторінку після успішного входу.</p> <p>logout_user(request) - функція, що виконує вихід користувача з системи.</p> <p>person_page(request, user_id) - функція, яка відображає фотографії, завантажені користувачем з user_id.</p> <p>delete_photo(request, photo_id) - функція, що видаляє фото з бази даних за photo_id.</p>
Photo/admin.py	<p>Файл відповідає за реєстрацію моделей в адміністративному інтерфейсі. Було додано імпорт моделі Photo і реєстрацію цієї моделі в адміністративному інтерфейсі Django. Це дозволить адміністратору сайту переглядати, створювати, редагувати та видаляти записи з бази даних, що стосуються моделі Photo.</p>
Photo/models.py	<p>Файл models.py містить класи моделей бази даних. Кожен клас моделі визначає таблицю бази даних, що відображає об'єкти цього класу моделі, та зберігає інформацію про поля цієї таблиці. Було додано клас Photo, який визначає модель бази даних для зберігання проектів користувачів.</p>
Photo/forms.py	<p>Файл forms.py - це файл, в якому описуються форми, які використовуються в проекті. У цьому файлі можна описати форми з будь-якими полями, які потрібні для взаємодії з користувачем. Було додано форми для завантаження фото на сервер, реєстрації нового користувача, входу користувача в систему.</p>

Наведемо граф переходів для сторінок сайту нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини на рисунку 3.2:

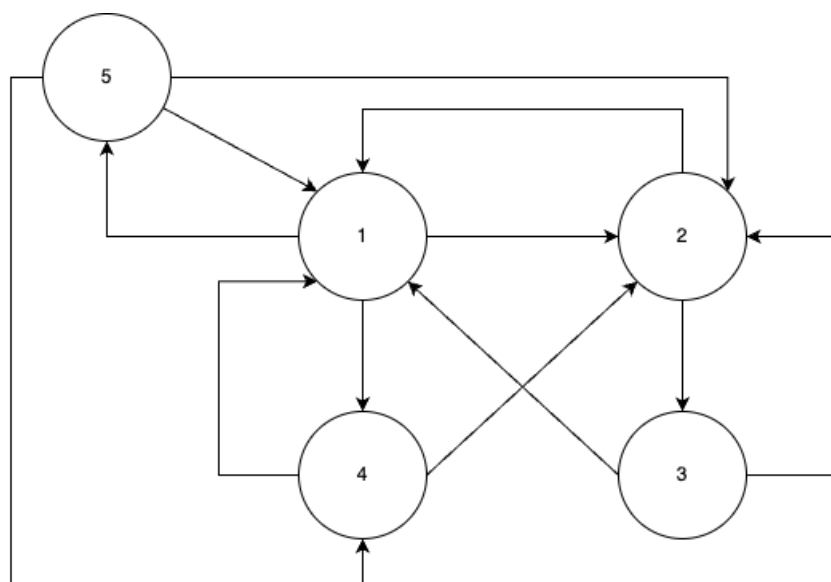


Рисунок 3.2 - Граф переходів для сторінок сайту

Наведемо опис сторінок сайту нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Опис сторінок сайту нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Номер	Опис
1	Файл <code>index.html</code> відповідає за відображення головної сторінки веб-додатку, на якій користувачі можуть дізнатися про можливості додатку та почати його використання.
2	Файл <code>login.html</code> відповідає за відображення сторінки авторизації користувача. Файл містить форму авторизації, що включає в себе поля для введення логіну та пароля користувача. Крім того, сторінка містить посилання на сторінку реєстрації нового користувача, що дозволяє не зареєстрованим користувачам створити свій обліковий запис.
3	Файл <code>register.html</code> є шаблоном сторінки реєстрації на веб-сайті. Він містить код, який відображає форму реєстрації з полями для введення даних користувача, таких як ім'я, електронна пошта та пароль. Файл також містить посилання на сторінку входу для користувачів, які вже мають обліковий запис на сайті.
4	Файл <code>person_page.html</code> відповідає за сторінку особистого кабінету користувача. Він відображає список фотографій, які були завантажені користувачем, разом з датою їх завантаження та

Продовження таблиці 3.2

	результатами обробки. Кожна фотографія містить по дві зображення - оригінальне та результат обробки. Користувач може завантажити результати у вигляді текстового файлу, а також видалити свої фотографії зі сторінки.
5	Файл photo_form.html відповідає за відображення сторінки з формою для завантаження фотографії людини та відображення результатів аналізу емоцій на цій фотографії. Форма містить поле вибору файлу, яке дозволяє користувачам завантажувати фотографії. Результати аналізу емоцій відображаються на сторінці у вигляді зображення оригінальної фотографії та зображення з виділеними обличчями та відповідними оцінками емоцій.

3.3. Керівництво користувача

Перша сторінка, яку бачить користувач - це головна сторінка сайту, яка зображена на рисунку 3.3:

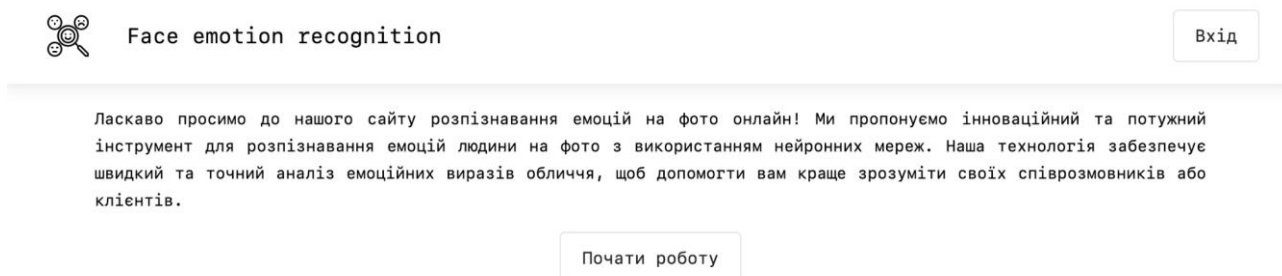


Рисунок 3.3 - Головна сторінка сайту

Це сторінка веб-сайту, яка містить інформацію про сервіс розпізнавання емоцій на фото і запрошує користувачів почати роботу з сервісом. Нижче наведені кроки, як користуватися цією сторінкою:

1. Запустіть веб-браузер і перейдіть на сторінку сайту. На головній сторінці ви побачите заголовок "Ласкаво просимо до нашого сайту розпізнавання емоцій на фото онлайн!" та короткий опис сервісу.
2. Для початку роботи з сервісом вам необхідно натиснути на кнопку "Почати роботу".

3. Якщо ви ще не зареєстровані на сайті, вам буде потрібно зареєструватися або увійти в існуючий акаунт. Це можна зробити, натиснувши на посилання "Почати роботу" і слідуючи інструкціям на екрані.

4. Якщо ви вже маєте акаунт на сайті, ви будете перенаправлені на сторінку відправки фото для розпізнавання емоцій.

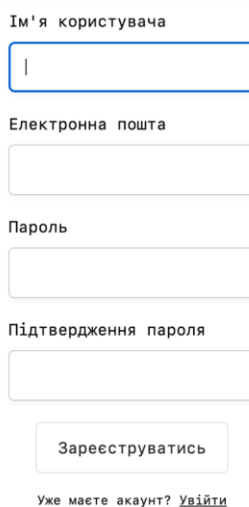
Розглянемо сторінку авторизації користувачів, яка зображенка на рисунку 3.4:

The screenshot shows a web page titled "Face emotion recognition". In the top right corner, there is a button labeled "Вхід". Below the title, there are two input fields: "Ім'я" (Name) and "Пароль" (Password). Below the password field is a button labeled "Увійти" (Login). At the bottom of the form, there is a link: "Ще немає акаунту? [Створити акаунт](#)".

Рисунок 3.4 - Сторінка авторизації

Ця сторінка потрібна для авторизації на веб-сайті "Face Emotion Recognition". Керівництво користувача до цієї сторінки:

1. Натисніть на посилання "Вхід" у верхньому правому куті сторінки, якщо ви хочете перейти на сторінку авторизації.
2. На сторінці авторизації введіть свій логін та пароль.
3. Натисніть на кнопку "Увійти", щоб відправити запит на сервер для авторизації.
4. Якщо введені дані вірні, ви будете перенаправлені на головну сторінку веб-сайта з доступом до інструментів ресурсу, а також з доступом до особистого кабінету. Якщо введені дані невірні, ви побачите повідомлення про помилку.
5. Якщо у вас немає акаунту на веб-сайті, ви можете створити його, натиснувши на посилання "Створити акаунт". Після цього ви перейдете на сторінку реєстрації, яка зображена на рисунку 3.5:



Ім'я користувача

Електронна пошта

Пароль

Підтвердження пароля

Уже маєте акаунт? [Увійти](#)

Рисунок 3.5 - Сторінка реєстрації

Це сторінка реєстрації на веб-сайті "Face Emotion Recognition". Щоб зареєструватися на сайті, вам потрібно виконати наступні кроки:

1. На сторінці реєстрації ви побачите форму з полями для введення вашої електронної пошти, логіну та паролю. Введіть свої дані в ці поля.
2. Натисніть кнопку "Зареєструватись", щоб надіслати запит на сервер для створення вашого акаунту.
3. Якщо введені дані вірні, ви будете автоматично авторизовані, та перенаправлені на головну сторінку сайту.
4. Якщо введені дані невірні, ви побачите повідомлення про помилку, що вказує на неправильно введені дані. Перевірте правильність введення своїх даних та спробуйте ще раз.
5. Також, якщо у вас уже є акаунт, ви можете натиснути на посилання "Увійти" та ввести свій логін та пароль на сторінці авторизації.

Розглянемо головну сторінку сайту з умовою, що користувач сайту уже авторизований, яка зображена на рисунку 3.6:



Рисунок 3.6 - Головна сторінка сайту авторизованого користувача

Ви маєте доступ до таких функцій:

1. Ви можете перейти до вашого особистого кабінету, натиснувши на посилання "Особистий кабінет" у верхньому меню. Там ви можете знайти всі свої фото, які ви надіслали на аналіз, а також результати аналізу, які ви отримали.
2. Якщо ви бажаєте вийти зі свого облікового запису, натисніть на "Вихід" у верхньому меню.
3. Для використання інструментів аналізу потрібно натиснути на кнопку "Почати роботу".

Розглянемо сторінку аналізу зображень користувачів, яка зображена на рисунку 3.7:

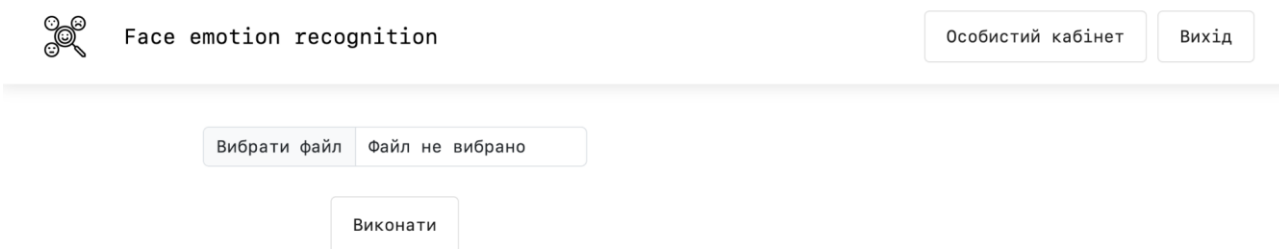


Рисунок 3.7 - Сторінка для завантаження зображення для аналізу

Ця сторінка пропонує функціонал, який дозволяє розпізнавати емоції на обличчях на зображенні. Щоб скористатися цим сервісом, слід дотримуватися наступних кроків:

1. На початковій сторінці ви зможете знайти логотип проекту та посилання на головну сторінку.
2. Для того, щоб розпізнати емоції на зображенні, слід вибрати зображення з власного пристрою, натиснути на кнопку "Виконати" та дочекатися

результатів.

3. Результати з'являться на цій же сторінці відразу після завершення обробки. Вони включають зображення з позначкою емоцій на обличчях та процент відповідності кожній емоції.

4. Також ви можете перейти до особистого кабінету за допомогою відповідної кнопки, щоб переглянути всі ваші проекти, та мати можливість завантажити їх. Кнопка "Вихід" дозволить вам вийти зі свого облікового запису.

Переглянемо сторінку після аналізу зображення, яка зображена на рисунку 3.8:

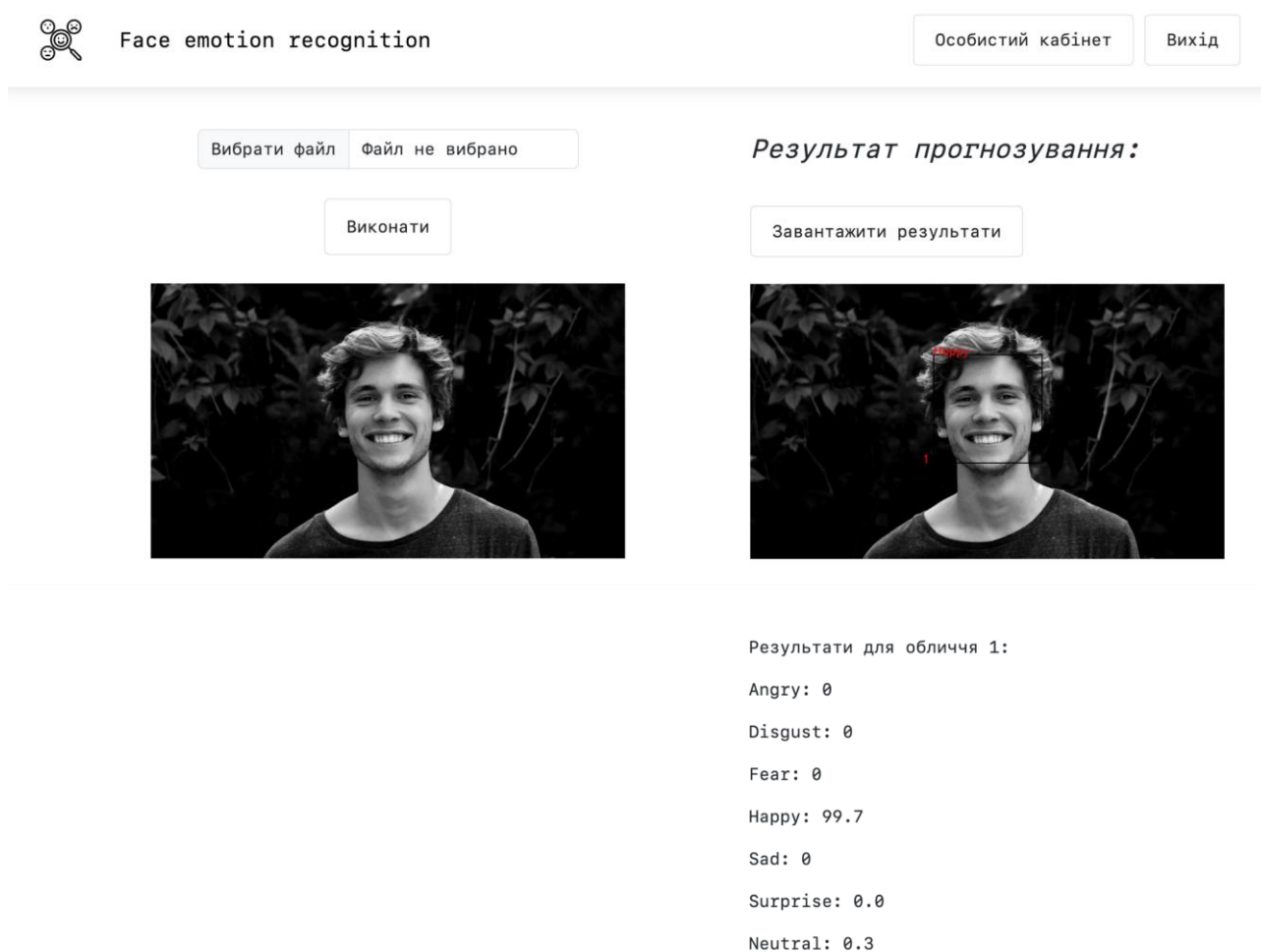


Рисунок 3.8 - Сторінка результатів аналізу зображення

Розглянемо сторінку особистого кабінету, яка зображена на рисунку 3.9:

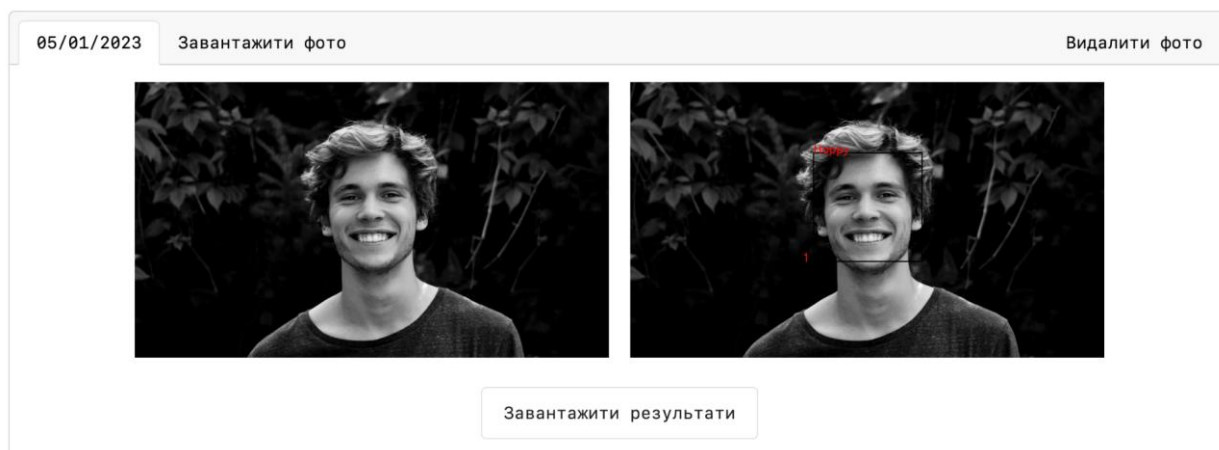


Рисунок 3.9 - Сторінка особистого кабінету користувача

На сторінці розміщені такі елементи:

Список фотографій користувача з їх результатами, який відображається у вигляді карток з елементами, які містять дату фотографії, кнопку "Завантажити фото", щоб завантажити фото, кнопку "Видалити фото", щоб видалити фото, та кнопку "Завантажити результати", щоб завантажити результати фотографії у вигляді текстового файлу.

Кроки для завантаження фотографії:

1. На своїй сторінці особистого кабінету натисніть кнопку "Завантажити фото" на картці фотографії, яку ви бажаєте завантажити.
2. Результати аналізу будуть завантажені у вигляді зображення на ваш комп'ютер.

Кроки для видалення фотографії:

1. На своїй сторінці особистого кабінету знайдіть картку фотографії, яку ви бажаєте видалити.
2. Натисніть кнопку "Видалити фото".
3. Фотографія буде видалена з вашого списку фотографій.

Кроки для завантаження результатів фотографії:

1. На своїй сторінці особистого кабінету знайдіть картку фотографії, результати якої ви бажаєте завантажити.

2. Натисніть кнопку "Завантажити результати".
3. Результати будуть завантажені у вигляді текстового файлу на ваш комп'ютер.

3.4 Огляд процесу тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини

Опис підготовки даних для навчання та протокол навчання нейромережного ядра наведені у додатку А.

Почнемо тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. Ця система є важливим інструментом для визначення емоційної стану людини на основі її виразу обличчя. Розглянемо приклад з радісним обличчям, що зображений на рисунку 3.10:

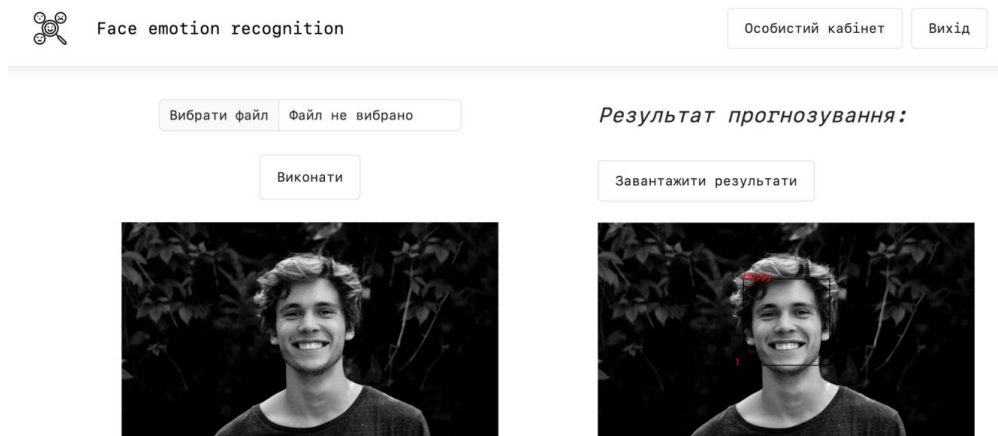


Рисунок 3.10 - Результат тестування на першому прикладі

Дані результати вказують на те, що нейромережний застосунок розпізнав обличчя, яке було задане на вхід, як радісне. У результаті аналізу, система відповіла, що не виявлено жодних ознак наявності негативних емоцій, таких як гнів, огиду, страх або сум, але з дуже високою ймовірністю (99.7%) відобразила емоцію щастя.

Також варто зазначити, що система не виявила жодних ознак здивування

або нейтральності в обличчі, оскільки показники для цих емоцій складають 0.0 та 0.3 відповідно.

З огляду на те, що на вхід було задано обличчя з радісним виразом, а система відображає високу вірогідність для емоції щастя (99.7%), можна стверджувати, що в даному випадку нейромережний застосунок розпізнавання емоцій відпрацювала вірно.

Розглянемо приклад, коли на вхід подано зображення, яке містить більше, ніж один вираз обличчя, яке зображене на рисунку 3.11:



Рисунок 3.11 - Результат тестування на фото, яке містить більше, ніж один вираз обличчя

Розглянемо відсоткові відношення емоцій, які зображені на рисунку 3.12:

Результати для обличчя 1:

Angry: 14.8

Disgust: 0.3

Fear: 19.8

Happy: 0.1

Sad: 15.6

Surprise: 44.3

Neutral: 5.1

Результати для обличчя 2:

Angry: 12.3

Disgust: 0.6

Fear: 29.3

Happy: 0

Sad: 48.7

Surprise: 3.5

Neutral: 5.7

Рисунок 3.12 - Відсоткові відношення емоцій на фото, яке містить більше, ніж один вираз обличчя

За даними результатами можна стверджувати про відсутність однієї домінуючої емоції в обличчі, це може пояснюватись тим, що на фото присутні одночасно декілька характеристик різних емоцій.

У цьому випадку результати можна вважати непоганими, оскільки система правильно відобразила деякі ознаки різних емоцій, що може допомогти у подальшому аналізі досліджуваних облич.

Розглянемо приклад, коли на вхід подано зображення з злим виразом обличчя, яке зображене на рисунку 3.13:



Рисунок 3.13 - Результат тестування системи на фото з злим виразом обличчя

Розглянемо відсоткові відношення емоцій, які зображені на рисунку 3.14:

Результати для обличчя 1:

Angry: 78.0

Disgust: 6.9

Fear: 14.9

Happy: 0

Sad: 0.2

Surprise: 0.0

Neutral: 0

Рисунок 3.14 - Відсоткові відношення емоцій на фото з злим виразом обличчя

За даними результатами можна стверджувати, що інформаційна система розпізнавання емоцій достатньо точно визначила наявність вираженої емоції гніву на обличчі на фото. Значення показника для гніву (78.0) є високим, що свідчить про наявність домінуючої емоції на обличчі.

Додатково можна відзначити, що на фото можуть бути присутні певні ознаки емоцій "відраза" та "страх", що відображені у показниках для відповідних емоцій (6.9 та 14.9 відповідно). Однак, значення цих показників є значно нижчими, ніж для гніву, тому можна стверджувати, що гнів є домінуючою емоцією на даному фото.

Розглянемо приклад, коли на вхід подано зображення з емоцією страху, яке зображене на рисунку 3.15:



Рисунок 3.15 - Результат тестування системи на фото з емоцією страху

Розглянемо відсоткові відношення емоцій, які зображені на рисунку 3.16:

Результати для обличчя 1:

Angry: 23.6

Disgust: 0.0

Fear: 25.9

Happy: 0.5

Sad: 18.7

Surprise: 23.5

Neutral: 7.7

Рисунок 3.16 - Відсоткові відношення емоцій на фото з емоцією страху
З результатів по фото видно, що система показала правильний результат, але з відсотків можемо побачити, що немає домінуючої емоції, оскільки розподіл емоцій достатньо рівномірний. Це пов'язано з тим, що на фото можна визначити кілька виразів обличчя, які викликають різні емоції. Наприклад, на фото бачимо, що людина одночасно відчуває страх та здивування, що може призвести до такого розподілу емоцій.

Розглянемо приклад, коли на вхід подано зображення з нейтральним виразом обличчя, яке зображене на рисунку 3.17:

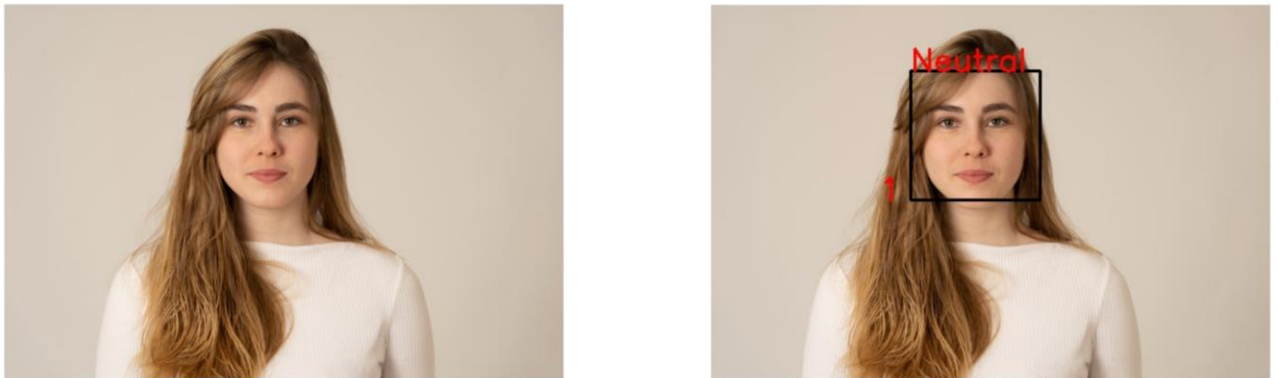


Рисунок 3.17 - Результат тестування системи на фото з нейтральним виразом обличчя

Розглянемо відсоткові відношення емоцій, які зображені на рисунку 3.18:

Результати для обличчя 1:

Angry: 0.4

Disgust: 0

Fear: 1.4

Happy: 9.7

Sad: 3.0

Surprise: 0.0

Neutral: 85.6

Рисунок 3.18 - Відсоткові відношення емоцій на фото з нейтральним виразом обличчя

З результатів видно, що для обличчя 1 домінуючою емоцією є нейтральний вираз, тоді як інші емоції, такі як радість, та сум присутні в меншій мірі. Зважаючи на те, що на вхід було задано нейтральний вираз обличчя, можна стверджувати, що система вірно відпрацювала.

Проведемо тестування сторінки особистого кабінету. Спробуємо завантажити результати аналізу проекту, який зображений на рисунку 3.19:



Рисунок 3.19 - Готовий проект в особистому кабінеті користувача

В результаті натискання на кнопку завантажити результати отримаємо текстовий файл, який зображений на рисунку 3.20:

```

result_wbprZnW.txt
[{"Angry": 14.81, "Disgust": 0.27, "Fear": 19.75, "Happy": 0.1, "Sad": 15.59, "Surprise": 44.34, "Neutral": 5.14}, {"Angry": 12.34, "Disgust": 0.56, "Fear": 29.3, "Happy": 0.0, "Sad": 48.68, "Surprise": 3.45, "Neutral": 5.67}]

```

Рисунок 3.20 - Результати аналізу зображення в текстовому форматі

Тепер перевіримо завантаження самого зображення, натиснемо на кнопку завантажити фото, та отримаємо файл на комп'ютері, який зображений на рисунку 3.21:



Рисунок 3.21 - Завантажений файл з результатами аналізу

Отже, було проведено огляд процесу тестування нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини. За результатами тестів встановлено, що система вірно працює в випадках, коли обличчя на фото має зрозумілу та однозначну емоцію. Також можна зазначити, що у випадку, коли характеристики різних емоцій змішуються, системі важко виділити домінуючу емоцію, але ми отримуємо відсоток кожної знайденої емоції, що допомагає краще проаналізувати фото. Однак, в загальному, результати тестів були високі, що свідчить про ефективність розробленої системи розпізнавання емоцій.

Також відзначимо, що система має додаткові функції, які дозволяють завантажувати результати в різних форматах, видаляти проекти в особистому кабінеті та інші корисні функції. Це дозволяє користувачам зручно та швидко отримувати необхідну інформацію та працювати з системою ефективно.

Висновок до розділу 3

Під час розробки нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини було проведено аналіз потреб користувачів та вибір програмних засобів, необхідних для реалізації функцій системи. Була побудована структура програмного забезпечення, що включає в себе різні програмні модулі, та створено специфікації цих модулів.

Для забезпечення ефективності та точності роботи системи було проведено тестування системи. На підставі результатів тестування можна стверджувати, що система працює вірно в випадках, коли вираз обличчя є з однозначною емоцією, але коли є характеристики різних емоцій, конкретну емоцію визначити може бути складніше.

Керівництво користувача було розроблено для забезпечення легкого та зручного користування системою. Крім того, система дозволяє завантажувати результати в різних форматах та видаляти проекти в особистому кабінеті.

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було проведено аналіз процесу розпізнавання емоцій людини та здійснений аналітичний огляд літератури та існуючих нейромережних застосунків. Також були проаналізовані основні процеси розпізнавання емоцій людини, а також поставлена задача щодо розробки нейромережного застосунку для розпізнавання емоцій.

У другому розділі була розроблена архітектура системи розпізнавання емоцій, вибрано та обґрунтовано метод класифікатора Хаара для розпізнавання обличчя та нейронної мережі CNN для розпізнавання емоцій людини. Також було розглянуто інформаційне забезпечення застосунку.

У третьому розділі було обґрунтовано вибір програмних засобів для реалізації нейромережного застосунку розпізнавання емоцій людини, описано структуру програмного забезпечення та керівництво користувача. Також був проведений огляд процесу тестування системи.

Отже, в результаті даної роботи був розроблений нейромережний застосунок розпізнавання емоцій людини, який проявляє високу ефективність та потенціал для застосування в різних сферах діяльності, де вимагається аналіз емоцій людини. В цілому, реалізація даного проекту може сприяти покращенню якості та ефективності роботи відповідних сфер діяльності.

Проте, для подальшого вдосконалення об'єкту дослідження рекомендується розширити набір розпізнаваних емоцій, підвищити точність класифікації нейромережі шляхом збільшення об'єму тренувального набору даних та налаштування параметрів моделі. Також можливим напрямом подальшого дослідження є використання інших архітектур нейронних мереж або комбінація кількох моделей для отримання ще більш точного розпізнавання емоцій.

У майбутньому можливо розширити функціональні можливості застосунку, додавши можливість розпізнавання емоцій у реальному часі за

допомогою відеопотоку або аудіозапису. Також варто дослідити можливості інтеграції з іншими системами аналізу даних для повного розуміння контексту та поведінки людини на основі розпізнавання її емоцій. Наприклад, можна розглянути можливість використання нейромережного застосунку у сферах таких як психологічна діагностика, реклама та маркетинг, аналіз соціальних медіа, додатки для здоров'я та фітнесу, та багато інших.

Крім того, варто вдосконалити процес навчання нейромережі шляхом автоматизації збору та анотування даних, що дозволить швидше та ефективніше створювати моделі розпізнавання емоцій. Також можна розглянути можливості побудови гібридних систем, які поєднують нейромережі з іншими методами машинного навчання, такими як методи згорткових мереж та рекурентних нейронних мереж, для отримання кращих результатів.

Загалом, розробка нейромережного застосунку для розпізнавання емоцій людини відкриває широкі можливості для використання в різних галузях та сферах діяльності. Продовження досліджень і розвитку цієї технології дозволить досягти більш точного та надійного розпізнавання емоцій, що принесе значну користь як у наукових, так і у практичних застосуваннях.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. “Recognition of Facial Expressions under Varying Conditions Using Dual-Feature Fusion” Awais Mahmood, Shariq Hussain, Khalid Iqbal, Wail S. Elkilani. Published: 21 Aug 2019. Link: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/9185481/>
2. “A Survey on Human Face Expression Recognition Techniques” I. Michael Revina, W.R. Sam Emmanuel. Published: 5 September 2018. Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157818303379>
3. “Facial expression recognition using a combination of multiple facial features and support vector machine” Hung-Hsu Tsai, Yi-Cheng Chang. Published: 19 May 2017. Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-017-2634-3>
4. MorphCast Emotion AI. Link: <https://www.morphcast.com/>
5. Noldus FaceReader. Link: <https://www.noldus.com/facereader/measure-your-emotions>
6. Emotion Recognition Face++. Link: <https://www.faceplusplus.com/emotion-recognition/>
7. FaceReader Online. Link: <https://www.facereader-online.com/>
8. “Facial Emotion Recognition”. Published: 26 May 2021. Link: https://edps.europa.eu/data-protection/our-work/publications/techdispatch/techdispatch-12021-facial-emotion-recognition_en
9. “Robust Face Detection using Convolutional Neural Network” Robert Yao Aaronson, Wu Chen, Ben-Bright Benuwa. Published: 6 July 2017. Link: https://www.academia.edu/37969578/Robust_Face_Detection_using_Convolutional_Neural_Network
10. “Face Detection using Viola Jones Algorithm” Great Learning Team. Published: March 7 2022. Link: <https://www.mygreatlearning.com/blog/viola-jones-algorithm/>
11. “Python documentation”. Link: <https://docs.python.org/3/>
12. “Numpy documentation”. Link: <https://numpy.org/doc/>

13. “Pandas documentation”. Link: <https://pandas.pydata.org/docs/>
14. “Matplotlib documentation”. Link: <https://matplotlib.org/stable/index.html>
15. “Tensorflow documentation”. Link: <https://www.tensorflow.org/>
16. “OpenCV documentation”. Link: <https://opencv.org/>
17. “Django documentation”. Link: <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/>
18. “Scikit-learn documentation”. Link: <https://scikit-learn.org/stable/>
19. “PyCharm documentation”. Link: <https://www.jetbrains.com/pycharm/>

ДОДАТОК А

Розпізнавання емоцій на зображеннях обличчя включає кілька етапів для підготовки та тренування моделі. Першим етапом є підготовка даних. Набір даних FER завантажується з файлу 'fer20131.csv' за допомогою бібліотеки pandas. Дані розділяються на мітки (labels) та значення пікселів (pixels). Зображення перетворюються у відповідний формат і зберігаються у масиві images.

Другим етапом є перетворення та обробка даних. Створюється новий масив reshaped_images розміром (кількість зображень, 48, 48, 1), щоб зберегти зображення у форматі, зручному для навчання моделі. Кожне зображення перетворюється у відповідний формат та нормалізується шляхом поділу на 255.0.

Третій етап полягає в підготовці навчальних та тестових даних. Дані розбиваються на тренувальний та тестувальний набори у співвідношенні 80:20 за допомогою функції train_test_split. Розміри тренувальних та тестових даних перевіряються для підтвердження.

Четвертий етап - побудова моделі. Використовується послідовна модель Sequential. Додаються згорткові шари, нормалізація даних, функції активації, шари об'єднання та відсіювання. Повнозв'язні шари додаються з відповідними функціями активації та відсіюванням. Останній шар використовує функцію активації softmax для визначення ймовірностей вихідних класів.

П'ятий етап - навчання моделі. Встановлюється кількість епох навчання, а також використовуються об'єкти ReduceLROnPlateau та ModelCheckpoint для зменшення швидкості навчання та збереження найкращих ваг моделі відповідно. Модель навчається за допомогою тренувальних даних та валідації на тестових даних.

Шостий етап - оцінка моделі на тренувальних та тестових даних. Здійснюється прогнозування класів за допомогою навченої моделі на

тренувальних та тестових даних. Побудова матриці плутанини та виведення звіту про класифікацію.

Навчання нейромережного ядра проводилося на даних тренувального та тестового наборів протягом певної кількості епох: 5, 10, 20, 40, 50. Під час навчання було здійснено аналіз точності моделі та зміни похибки на кожній епосі.

Проведемо тестування мережі, навченої на 5 епохах. Результати тестування тренувального набору приведено на рисунку А.1.

```

Confusion Matrix
[[1652  21  625  329  476  282  583]
 [  71 120  99  37  59  29  30]
 [ 233  4 1772  225  647  822  375]
 [  83  1  227 6130  183  325  275]
 [ 263  4  815  390 2310  180  905]
 [  26  1  150  119  52 2801  58]
 [ 155  0  361  473  566  347 3018]]
Classification Report
      precision    recall  f1-score   support

   angry         0.67     0.42     0.51     3968
  disgust         0.79     0.27     0.40       445
    fear         0.44     0.43     0.44     4078
   happy         0.80     0.85     0.82     7224
  neutral         0.54     0.47     0.50     4867
    sad         0.59     0.87     0.70     3207
  surprise         0.58     0.61     0.59     4920

 accuracy         0.62
 macro avg         0.63     0.56     0.57     28709
 weighted avg         0.62     0.62     0.61     28709

```

Рисунок А.1 - Результати тестування тренувального набору

Результати тестування тестувального набору приведено на рисунку А.2.

```

225/225 [=====] - 70s 309ms/step
Confusion Matrix
[[ 353  5  150  100  134  78  165]
 [  23  24  25  6  11  7  6]
 [  63  4  418  72  172  195  119]
 [  30  0  74 1438  72  76  75]
 [  71  5  192  134  497  52  259]
 [  5  0  66  43  10  655  16]
 [  36  1  127  155  156  89  714]]
Classification Report
      precision    recall  f1-score   support

   angry         0.61     0.36     0.45     985
  disgust         0.62     0.24     0.34     102
    fear         0.40     0.40     0.40    1043
   happy         0.74     0.81     0.77    1765
  neutral         0.47     0.41     0.44    1210
    sad         0.57     0.82     0.67     795
  surprise         0.53     0.56     0.54    1278

 accuracy         0.57
 macro avg         0.56     0.51     0.52    7178
 weighted avg         0.57     0.57     0.56    7178

```

Рисунок А.2 - Результати тестування тестового набору

Проведемо тестування мережі, навченої на 10 епохах. Результати тестування тренувального набору приведено на рисунку А.3. та результати тестування тестового набору на рисунку А.4.

```

Confusion Matrix
[[2782  34  171  98  422  48  413]
 [ 48 351  6  1  28  6  5]
 [ 372  14 2049 107 838 347 351]
 [ 45  0  28 6773  88  91 199]
 [ 281  9  219 112 3517  22  707]
 [ 37  2  115  85  36 2874  58]
 [ 140  2  74  212  522  31 3939]]
Classification Report
      precision    recall  f1-score   support

   angry         0.75     0.70     0.73     3968
  disgust         0.85     0.79     0.82      445
    fear         0.77     0.50     0.61     4078
   happy         0.92     0.94     0.93     7224
  neutral         0.65     0.72     0.68     4867
    sad          0.84     0.90     0.87     3207
  surprise         0.69     0.80     0.74     4920

 accuracy         0.78
 macro avg         0.78     0.76     0.77     28709
 weighted avg         0.78     0.78     0.77     28709

```

Рисунок А.3 - Результати тестування тренувального набору

```

Confusion Matrix
[[ 531  11  54  67 154  25 143]
 [ 23  54  7  3  10  3  2]
 [ 119  5  374  49 259 114 123]
 [ 50  1  19 1482  70  41 102]
 [ 109  6  74  88 676  11 246]
 [ 14  0  65  48  23 620  25]
 [ 70  2  48 110 185  13 850]]
Classification Report
      precision    recall  f1-score   support

   angry         0.58     0.54     0.56     985
  disgust         0.68     0.53     0.60     102
    fear         0.58     0.36     0.44     1043
   happy         0.80     0.84     0.82     1765
  neutral         0.49     0.56     0.52     1210
    sad          0.75     0.78     0.76     795
  surprise         0.57     0.67     0.61     1278

 accuracy         0.64
 macro avg         0.64     0.61     0.62     7178
 weighted avg         0.64     0.64     0.63     7178

```

Рисунок А.4 - Результати тестування тестового набору

За результатами навчання, можемо зробити висновок, що точність моделі на тренувальному та на тестовому наборах зросла приблизно на 0.11 в порівнянні з результатами навчання мережі на 5 епохах.

Тепер наведемо протокол, який описує всі результати тестування моделі, у таблиці А.1:

Таблиці А.1- Точність тестування моделі під час навчання

Кількість епох	Точність на тренувальному наборі	Точність на тестовому наборі
5	0.62	0.57
10	0.78	0.64
20	0.83	0.66
40	0.88	0.69
50	0.91	0.73

Аналізуючи результати протоколу тестування моделі на різній кількості епох під час навчання, можна зробити наступні висновки. Зі збільшенням кількості епох точність моделі на тренувальному наборі постійно зростає, що свідчить про краще "вивчання" тренувальних даних. Точність моделі на тестовому наборі також покращується, але не настільки швидко, що свідчить про те, що модель здатна узагальнювати знання на нові дані, що не були використані під час навчання. При збільшенні кількості епох від 5 до 50, точність моделі на тренувальному наборі зросла з 0.62 до 0.91, а на тестовому наборі - з 0.57 до 0.73. Отже, збільшення кількості епох сприяє покращенню точності моделі, проте подальший приріст може бути менш помітним.