

Міністерство освіти і науки України
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
кафедра фізики та інформаційних систем

«До захисту допускаю»

завідувач кафедри фізики та інформаційних систем

кандидат фізико-математичних наук, доцент

_____ Віталій ГОЛЬСЬКИЙ «____» ____ 2024 р.

Розробка системи розпізнавання облич

Спеціальність: 112 Комп'ютерні науки

Магістерська робота

на здобуття кваліфікації – «Магістр з комп'ютерних наук»

Автор роботи: **Романів Назар Андрійович** _____
підпис

Науковий керівник: **кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики та інформаційних систем
Лешко Роман Ярославович** _____
підпис

Дрогобич 2024

Захист кваліфікаційної (бакалаврської, магістерської) роботи

(тема роботи)

Оцінка за стобальною шкалою: _____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: _____

Коротка мотивація захисту:

_____	Голова ЕК _____	_____
Дата		підпис
прізвище, ім'я		

Секретар ЕК _____	_____
підпис	прізвище, ім'я

Анотація

Романів Н.А. Розробка системи розпізнавання облич. Магістерська робота, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Дрогобич, 2024 р.

До захисту подано магістерську роботу, у якій проаналізовано і класифіковано методи розпізнавання облич, описано їхні переваги і недоліки, описано можливості їх застосування на практиці. У роботі реалізовано алгоритм розпізнавання облич, створено веб-додаток, що дає змогу порівнювати обличчя і шукати подібні. Зокрема реалізовано можливість ручного порівняння облич та пошук відповідника у базі.

Ключові слова: розпізнавання облич, веб-додаток, python, Laravel.

Romaniv N.A. Development of a Facial Recognition System. Master's Thesis, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, 2024.

The master's thesis submitted for defense analyzes and classifies facial recognition methods, describing their advantages and disadvantages, and explores the possibilities of their practical application. The work implements a facial recognition algorithm and creates a web application that allows face comparison and similar face search. Specifically, it includes the implementation of manual face comparison and a search for matches in a database.

Keywords: facial recognition, web application, Python, Laravel.

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1 Методи розпізнавання облич.....	7
1.1. Геометричний метод розпізнавання обличчя.....	7
1.2. Метод гнучкого порівняння на графах.....	9
1.3. Метод Віоли-Джонса.....	11
1.4. Використання нейронних мереж.....	13
Розділ 2 Сервіси та бібліотеки з розпізнавання облич.....	15
2.1. Сервіси розпізнавання облич.....	15
2.1.1. AWS Rekognition.....	15
2.1.2. Face++.....	17
2.1.3. OpenAI.....	18
2.2. Бібліотеки розпізнавання облич.....	20
Розділ 3 Розробка веб-додатку з розпізнавання облич.....	23
3.1. Структура розробленого програмного забезпечення.....	23
3.2. Використані технології у розробленні та реалізація розпізнавання облич.....	27
Висновки.....	29
Список використаних джерел.....	30
Додаток А.....	32
Додаток Б.....	33

Вступ

Актуальність розпізнавання облич сьогодні є надзвичайно високою, зважаючи на стрімкий розвиток технологій та зростаючі потреби у безпеці й автоматизації. Розпізнавання облич застосовується у багатьох сферах, таких як безпека, ідентифікація особистості, контроль доступу до важливих об'єктів та пристроїв. У контексті глобальної цифровізації ці системи стають основою для забезпечення безконтактною аутентифікації, що зменшує ризик шахрайства. До того ж, сучасні методи штучного інтелекту дозволяють значно підвищити точність розпізнавання, мінімізуючи кількість помилок.

У публічних місцях розпізнавання облич може забезпечувати додаткову безпеку, запобігаючи злочинам або прискорюючи процес ідентифікації правопорушників. Це особливо важливо на великих об'єктах, як аеропорти, стадіони та транспортні вузли, де відстеження підозрілих осіб може зберегти життя. Автоматичний контроль доступу в державні установи, бізнес-центри та навіть приватні оселі є ще одним важливим аспектом використання цієї технології. Такий підхід усуває необхідність використання фізичних ключів чи карток, підвищуючи зручність для користувачів.

Наукові дослідження також показують, що технології розпізнавання облич стають все більш популярними в маркетингу та аналітиці. Торгові центри, магазини та рекламні компанії використовують системи розпізнавання для аналізу поведінки покупців, що дозволяє пропонувати більш персоналізовані продукти й послуги. Крім того, ця технологія допомагає виявляти закономірності поведінки клієнтів, підвищуючи ефективність маркетингових кампаній. Однак це також викликає занепокоєння щодо приватності, що вимагає врегулювання на законодавчому рівні.

Освіта та медицина також використовують розпізнавання облич для автоматизації рутинних процесів. У навчальних закладах технології можуть застосовуватися для обліку відвідуваності студентів або для контролю за проведенням екзаменів. У медичних закладах – для забезпечення безпечного

доступу до особистих медичних даних пацієнтів. Ця технологія може бути застосована і для допомоги людям з обмеженими можливостями, спрощуючи їхню взаємодію з електронними системами. Отже, розпізнавання облич вносить значний внесок у розвиток різних галузей.

Проте, варто враховувати етичні аспекти використання цієї технології. Питання конфіденційності, можливість зловживань та неправомірного використання особистих даних є серйозними викликами для суспільства. Регулювання таких систем має бути чітко прописаним, щоб захистити права користувачів. Забезпечення прозорості у збиранні та використанні даних є необхідною умовою для довіри до цих технологій. Незважаючи на всі виклики, розпізнавання облич має великий потенціал для покращення якості життя, якщо його застосування буде відповідати етичним стандартам. Хоча на сьогодні існує багато систем розпізнавання облич, розроблення нових систем розпізнавання облич є надалі актуальним завданням через постійний розвиток технологій, що дозволяє створювати більш точні та ефективні рішення. Крім того, нові системи можуть краще адаптуватися до різних умов, що підвищує їхню практичну цінність і застосування в реальних умовах.

Таким чином, **метою** магістерської роботи є розроблення системи розпізнавання облич.

Для досягнення мети розв'язано такі **завдання**:

1. Проведено аналіз наявних систем розпізнавання облич.
2. Описано сервіси та бібліотеки, що реалізують розпізнавання.
3. Створено алгоритм розпізнавання і реалізовано веб-додаток.

Об'єктом розробки є алгоритми і методи розпізнавання облич.

Предметом розробки є веб-додаток, що дає змогу розпізнати обличчя.

Розділ 1

Методи розпізнавання облич

1.1. Геометричний метод розпізнавання обличчя

Геометричний метод розпізнавання обличчя базується на аналізі взаємного розташування ключових точок на обличчі, таких як очі, ніс, рот та контури обличчя [1]. Основна ідея полягає в тому, що обличчя можна представляти як сукупність геометричних фігур, де кожна точка має певні координати в просторі. Цей метод використовує евклідову або інші види відстаней між точками для порівняння і визначення схожості між двома обличчями. Математична суть методу полягає в побудові векторів із координат точок та обчисленні метрик між ними. Таким чином, для кожного обличчя формується унікальний геометричний "відбиток", який можна використовувати для ідентифікації.

З математичної точки зору, кожне обличчя можна представити у вигляді множини точок у двовимірному просторі, кожна з яких має координати (x, y) . Основною метрикою є відстань між ключовими точками обличчя, яка розраховується за формулою Евклідової відстані:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} . \quad (1.1)$$

Для більш точного опису можуть також використовуватися кути між векторами, що з'єднують ці точки. Сучасні варіації методу можуть використовувати тривимірні моделі облич, де враховуються також глибина та об'ємні координати точок, що робить метод більш стійким до змін у положенні голови.

Однією з основних переваг геометричного методу є його простота та відносна швидкість обчислень. У порівнянні з іншими методами, такими як аналіз текстури або нейронні мережі, він не потребує великих обчислювальних потужностей. Метод є досить стійким до незначних змін у виразах обличчя, оскільки взаємне розташування основних точок обличчя залишається незмінним. Також він ефективний при розпізнаванні облич в умовах з низькою

роздільною здатністю зображення. Водночас, метод добре масштабується при обробці великих баз даних облич.

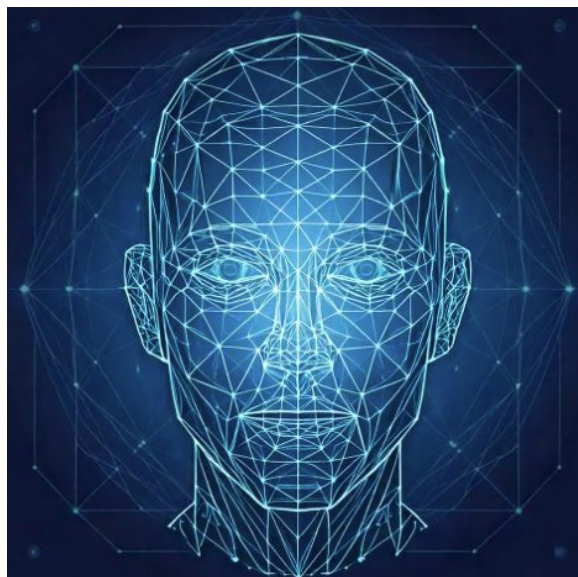


Рисунок 1.1. Реалізація геометричного розбиття обличчя на фрагменти

Проте цей метод має і свої недоліки. Він є менш точним у складних умовах, таких як сильне освітлення або різке поворот обличчя, коли деякі ключові точки можуть бути приховані. Крім того, метод чутливий до змін у зовнішності людини, таких як носіння окулярів або зміна зачіски, що може суттєво вплинути на точність розпізнавання. Геометричний метод також не здатен ефективно враховувати динамічні зміни у виразах обличчя, що може бути критично важливим у деяких випадках. Через ці обмеження його часто комбінують з іншими методами для досягнення кращих результатів.

Таким чином, геометричний метод розпізнавання облич залишається важливим інструментом у сфері біометричних технологій завдяки своїй простоті та ефективності. Однак, для отримання максимальної точності та стійкості до різних факторів його варто використовувати в поєднанні з іншими підходами, такими як методи аналізу текстури або машинного навчання. У майбутньому можна очікувати ще більшої інтеграції геометричного підходу з сучасними AI-алгоритмами для підвищення точності та універсальності розпізнавання.

1.2. Метод гнучкого порівняння на графах

Метод гнучкого порівняння на графах використовується для розпізнавання обличч шляхом представлення обличчя у вигляді графа, де вузли відповідають ключовим точкам, а ребра – відстаням між ними [2]. Основна ідея цього методу полягає в порівнянні графових структур різних обличч, що дозволяє враховувати не лише відстані між точками, але й їхнє взаємне розташування. Для порівняння графів використовуються різні метрики подібності, такі як кількість збігів між вузлами та ребрами. Завдяки цьому підходу, метод є більш стійким до змін у положенні або виразах обличчя.

З математичної точки зору, кожне обличчя представлено як множина вузлів ($V = v_1, v_2, \dots, v_n$) і множина ребер ($E = e_1, e_2, \dots, e_m$), що формують граф ($G = (V, E)$). Вузли графа відповідають ключовим точкам на обличчі, а ребра – відстаням або відносним кутам між ними. Порівняння двох обличч виконується через обчислення подібності між їхніми графами, що може бути здійснено за допомогою таких алгоритмів, як пошук ізоморфізму графів. Це дозволяє гнучко порівнювати обличчя навіть за наявності певних відхилень у формі або розташуванні ключових точок.

Основною перевагою методу гнучкого порівняння на графах є його здатність враховувати зміни у зовнішності людини, такі як зміна виразів обличчя, кутів нахилу голови або часткове перекриття обличчя. Це робить метод більш універсальним у порівнянні з іншими методами, що використовують фіксовані координати точок. Крім того, він є стійким до впливу змін у освітленні та якості зображення, оскільки порівняння відбувається на рівні структурних взаємозв'язків. Проте, недоліком є складність обчислень, оскільки порівняння графів є більш ресурсозатратним у порівнянні з простими евклідовими метриками.

Цей метод знайшов широке застосування в біометричних системах, особливо в тих випадках, коли важливо забезпечити надійне розпізнавання за умов неповної або пошкодженої інформації. Його часто використовують у

поєднанні з іншими методами розпізнавання для підвищення точності. Сучасні дослідження спрямовані на оптимізацію алгоритмів порівняння графів, щоб зменшити час обробки даних і підвищити ефективність використання ресурсу. Метод гнучкого порівняння на графах є перспективним напрямом у розвитку технологій розпізнавання облич, особливо з урахуванням можливостей його подальшого вдосконалення за допомогою штучного інтелекту.

1.3. Метод Віоли-Джонса

Метод Віоли-Джонса (Viola-Jones) є одним із перших алгоритмів, що забезпечив швидке і точне виявлення облич на зображеннях у режимі реального часу. Цей метод був розроблений Полом Віолою та Майклом Джонсом у 2001 році [3] і поєднує кілька інноваційних технік для забезпечення ефективної роботи. Основою методу є використання каскаду простих класифікаторів на базі ознак Хаара, що дозволяє швидко обробляти зображення та виділяти області, що можуть містити обличчя. Ознаки Хаара — це прості шаблони, які вимірюють різницю в яскравості між темними і світлими ділянками зображення. Вони представляються у вигляді прямокутних областей (наприклад, чорна і біла смуги), що накладаються на зображення для виявлення характерних ознак обличчя, таких як очі, ніс або рот. Ці ознаки дозволяють алгоритму швидко розпізнавати структури на зображенні, обчислюючи різниці між сумами пікселів у цих областях. Завдяки цьому підходу метод став основою для багатьох систем розпізнавання облич і широко використовується в різних додатках, таких як цифрові камери, програми безпеки та мобільні пристрої.

Математична суть методу Віоли-Джонса базується на ознаках Хаара, які представляють собою прості шаблони, що характеризують яскравість у різних частинах обличчя, наприклад, темні очі на світлому фоні. Для кожного шаблону розраховується різниця між сумами пікселів у світлих і темних областях, що дозволяє виявити ключові особливості обличчя. Потім алгоритм використовує метод каскадної класифікації, де перший класифікатор відсіює більшість областей, які точно не є обличчям, а наступні класифікатори поступово уточнюють вибір. Для ефективної обробки алгоритм застосовує інтегральні зображення, що дозволяє швидко обчислювати ознаки Хаара для будь-якої області на зображенні.

Однією з основних переваг методу Віоли-Джонса є його висока швидкість роботи, що дозволяє застосовувати його в реальних умовах, де потрібно

швидко аналізувати зображення або відеопотоки. Алгоритм є досить стійким до змін у освітленні та орієнтації обличчя, що робить його універсальним для різних умов зйомки. Завдяки каскадній структурі, метод може ефективно відфільтровувати нерелевантні області, зменшуючи навантаження на процесор. Також він легко адаптується до виявлення інших об'єктів, якщо навчити його на відповідних наборах даних.

Проте, метод Віоли-Джонса має і свої обмеження. Він краще працює з фронтальними зображеннями облич і може мати труднощі з виявленням облич під різними кутами або з частковими перекриттями. Крім того, ознаки Хаара є досить простими і не завжди здатні вловити складні деталі обличчя, що може призводити до меншої точності в порівнянні з сучасними методами на основі глибокого навчання. Незважаючи на це, метод Віоли-Джонса залишається важливим етапом в історії розвитку технологій комп'ютерного зору і досі використовується в багатьох програмах завдяки своїй швидкості та ефективності.

1.4. Використання нейронних мереж

Метод розпізнавання облич із використанням нейронних мереж [4] є одним із найпотужніших сучасних підходів у комп'ютерному зорі. Нейронні мережі, зокрема глибокі згорткові нейронні мережі (CNN), здатні автоматично вивчати складні патерни у великих наборах даних і виділяти важливі ознаки обличчя. Цей метод використовує велику кількість шарів, де кожен шар відповідає за виділення певного рівня особливостей – від простих контурів до складніших характеристик обличчя. Нейронні мережі навчаються на величезних наборах даних із тисячами прикладів облич, що дозволяє їм досягати високої точності у складних умовах, таких як зміна виразів, освітлення або ракурсів.

Математична суть нейронних мереж полягає в обчисленні набору зважених сум входів через функції активації. Кожен нейрон у мережі приймає на вхід дані, обчислює лінійну комбінацію входних сигналів і передає результат через нелінійну функцію активації, таку як ReLU або сигмоїдна функція. Цей процес повторюється через кілька шарів мережі, що дозволяє мережі поступово виділяти все складніші ознаки обличчя. Під час навчання мережа коригує ваги за допомогою алгоритму зворотного поширення похибки (backpropagation), мінімізуючи різницю між прогнозованими та реальними значеннями, за допомогою метрик втрат, таких як функція перехресної ентропії.

Основними перевагами використання нейронних мереж для розпізнавання облич є їхня здатність автоматично вивчати значущі ознаки без потреби ручної підготовки ознак, а також висока точність навіть у складних умовах. Нейронні мережі здатні обробляти величезні обсяги даних паралельно, що робить їх ефективними для розпізнавання облич на великих масштабах, як у випадку з соціальними мережами або системами безпеки. Крім того, глибокі нейронні мережі можуть бути навчені для різноманітних завдань одночасно, таких як виявлення облич, розпізнавання емоцій та ідентифікація особи. Це робить їх дуже гнучкими та універсальними в різних застосуваннях.

Недоліками цього методу є потреба у великих обсягах даних для навчання та високі обчислювальні ресурси. Навчання нейронних мереж вимагає потужних графічних процесорів (GPU) і тривалого часу на обробку даних. Крім того, ці мережі можуть бути вразливі до атак типу "адверсаріальні приклади", коли невеликі зміни у зображенні можуть ввести мережу в оману. Також нейронні мережі часто працюють як "чорний ящик", що робить важким пояснення прийнятих рішень, що може бути проблематичним у деяких додатках, таких як біометрична безпека.

Короткий огляд декількох методик показав їхні переваги і недоліки. Тому у більшості систем розпізнавання використовуються комплексні методи, що дають змогу покращити результати і прискорити роботу з мінімальними затратами обчислювальних ресурсів. У наступному розділі ми розглянемо типові сервіси та бібліотеки, що дають змогу реалізувати розпізнавання облич.

Розділ 2

Сервіси та бібліотеки з розпізнавання облич

Зважаючи на популярність технології розпізнавання облич, на сьогодні існує велике число сервісів, що дають змогу реалізувати розпізнавання, порівняння, визначення схожості облич. У цьому розділі ми розглянемо декілька популярних і відомих сервісів, які надають зручні API для використання у задачах розпізнавання, порівняння облич. Також ми розглянемо вільні бібліотеки на python, що дають змогу працювати з обличчями.

2.1. Сервіси розпізнавання облич

2.1.1. AWS Rekognition

Один з найвідоміших сервісів від Amazon Web Services, - це AWS Rekognition [5], який надає можливості для аналізу зображень і відео з використанням технологій машинного навчання. Цей сервіс здатний ідентифікувати об'єкти, людей, текст, сцени і навіть небажаний контент у зображеннях та відео. Основна перевага AWS Rekognition полягає в його легкій інтеграції через API, що робить його привабливим для розробників різних рішень, від безпеки до маркетингу. Сервіс автоматизує аналіз медіафайлів, дозволяючи суттєво заощадити час і ресурси.

Розпізнавання облич — одна з ключових функцій AWS Rekognition. Сервіс може визначати й ідентифікувати обличчя в режимі реального часу або на заздалегідь завантажених зображеннях чи відео. Він здатний не тільки розпізнавати обличчя, але й аналізувати їхні емоції, стать, вік, а також знаходити відповідність з іншими зображеннями в базі даних. Наприклад, ця функція може бути використана для аутентифікації користувачів у системах

безпеки або для персоналізованого маркетингу, де можна відстежувати реакції клієнтів.

Щодо алгоритмів, AWS Rekognition використовує сучасні методи глибинного навчання для обробки зображень та розпізнавання облич. Зокрема, застосовуються нейронні мережі, згорткові нейронні мережі (CNN), які спеціалізуються на аналізі зображень. Такі мережі дозволяють витягувати ключові ознаки з облич, що робить можливим високоточне розпізнавання навіть при зміні освітлення, пози чи інших умов. Поряд з CNN, використовуються алгоритми машинного навчання для підвищення точності та швидкості розпізнавання.

Загалом ці сервіси платними. AWS Rekognition має дві основні моделі оплати: на основі кількості проаналізованих зображень або відео та за час аналізу відео в реальному часі. Наприклад, для обробки зображень існує ліміт безкоштовного використання, після чого стягується плата за кожне оброблене зображення. Аналіз відео тарифікується за годину відеопотоку, що дозволяє гнучко керувати витратами залежно від конкретних потреб бізнесу. Однак є і безкоштовний рівень. У рамках безкоштовного плану можна використовувати 5000 запитів на розпізнавання облич на місяць протягом перших 12 місяців після реєстрації. Це стосується як зображень, так і відео. AWS також пропонує можливість налаштувати бюджет та сповіщення для відстеження витрат, щоб уникнути несподіваних витрат.

Отже, AWS Rekognition — це ефективний і масштабований сервіс та інструмент для обробки та аналізу зображень і відео. Його широкі можливості роблять його корисним у різних галузях: від систем безпеки до медіа та розваг. Завдяки використанню сучасних алгоритмів, цей сервіс забезпечує високу точність розпізнавання облич та інших об'єктів, що робить його популярним вибором для користувачів. А наявність API робить його зручним для інтеграції в різних системах і проектах.

2.1.2. Face++

Ще одним популярним сервісом є платформа Face++ [6], розроблена компанією Megvii, яка надає API для розпізнавання облич, аналізу емоцій, ідентифікації об'єктів та інших завдань, пов'язаних з комп'ютерним зором. Це рішення популярне серед розробників завдяки його зручності у впровадженні та широкому функціоналу. Face++ дозволяє автоматизувати процеси розпізнавання та аналізу, що може бути корисним у багатьох сферах, включаючи безпеку, мобільні додатки, фінансові сервіси та ритейл. Платформа підтримує інтерфейси API, які можуть легко інтегруватися з існуючими системами через хмару.

У розпізнаванні облич Face++ пропонує можливості визначення облич на фотографіях або у відео. Платформа дозволяє ідентифікувати унікальні риси обличчя, аналізувати їхню симетрію, положення очей, носа і рота, що дозволяє точніше розпізнавати обличчя навіть у складних умовах, таких як зміна освітлення або часткове перекриття. Окрім цього, Face++ підтримує функцію відстеження обличчя в реальному часі, що може бути використано в системах моніторингу або аутентифікації користувачів.

Для розпізнавання облич у Face++ застосовуються передові алгоритми комп'ютерного зору, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN) та алгоритми глибокого навчання. Ці технології дозволяють аналізувати тисячі зображень і відео з високою точністю, адаптуючись до різних умов зйомки. Завдяки використанню CNN, Face++ може ефективно витягувати та порівнювати ключові ознаки обличчя, що робить можливим точне визначення навіть при незначних змінах у зовнішності.

Щодо ціноутворення, Face++ надає різні варіанти ліцензування залежно від обсягу використання. Платформа пропонує безкоштовні плани для обмеженої кількості запитів на день, що дозволяє розробникам протестувати можливості сервісу. Для масштабних рішень доступні платні тарифи, які

залежать від кількості оброблених зображень або запитів API, що робить сервіс гнучким у налаштуванні відповідно до потреб бізнесу.

Отже, Face++ є потужним і надійним рішенням для задач розпізнавання облич і аналізу зображень. Завдяки використанню передових алгоритмів і гнучкій моделі оплати, цей сервіс підходить як для стартапів, так і для великих підприємств. Face++ може бути легко інтегрований у різноманітні додатки та системи, забезпечуючи високу точність і продуктивність у процесах ідентифікації й аналізу облич.

2.1.3. OpenAI

Найбільш відомий серед простих користувачів інтернету є сервіси OpenAI [7]. Компанія пропонує потужні інструменти для роботи з текстом та зображеннями через свої моделі GPT та DALL-E. GPT (Generative Pre-trained Transformer) зосереджується на обробці та генерації тексту, дозволяючи створювати складні відповіді, генерувати креативний контент, вести діалоги і виконувати багато інших завдань, пов'язаних із мовою. У той час як DALL-E спеціалізується на генерації зображень з текстових описів, демонструючи здатність перетворювати уявлення в графічні образи. Ці моделі інтегруються через API, що робить їх доступними для розробників і підприємств для реалізації різноманітних функцій у своїх додатках.

Аналіз зображень за допомогою OpenAI можна реалізувати через комбінацію функцій GPT і DALL-E. Наприклад, API DALL-E може використовуватися для створення зображень на основі текстових запитів, а потім GPT може інтерпретувати ці зображення, генеруючи опис чи обговорення вмісту. Це може бути корисно в багатьох сферах, таких як маркетинг, де можна автоматично створювати рекламні матеріали, або в освіті, де студенти можуть отримувати візуалізації концепцій, описаних у тексті.

В основі DALL-E лежать алгоритми глибокого навчання, зокрема варіаційні автокодери (VAE) та трансформери. Ці технології дозволяють моделі

не лише генерувати нові зображення, але й підтримувати зв'язок між текстовими описами та візуальними образами. Це означає, що користувачі можуть задавати конкретні умови для створення зображень, отримуючи результати, які відповідають їхнім запитам. З точки зору GPT, модель навчається на великих обсягах текстових даних, що дозволяє їй розуміти контекст і генерувати зміст, який відображає цю інформацію.

Ціноутворення OpenAI базується на використанні API, яке може варіюватися в залежності від обсягу запитів. Зазвичай є безкоштовні тарифи для тестування, але вартість може зрости залежно від обсягу використання. Користувачі платять за кількість запитів до API та обсяги оброблених даних, що дозволяє їм гнучко налаштовувати витрати відповідно до своїх потреб.

OpenAI надає унікальні можливості для аналізу зображень через свої моделі, що може бути корисним у різних галузях. Завдяки інтеграції GPT та DALL-E, розробники можуть створювати потужні рішення, що поєднують текст і графіку, а також автоматизувати процеси візуалізації та опису. Ці технології забезпечують широкий спектр можливостей для інновацій у бізнесі, освіті та креативних індустріях, відкриваючи нові горизонти для автоматизації та творчості.

2.2. Бібліотеки розпізнавання облич

Іншим способом, що може використовуватися для розпізнавання облич є використання готових бібліотек, що вільно розповсюджуюся на github та інших репозиторіях. Розглянемо деякі з них

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — це потужна бібліотека комп'ютерного зору, що надає розробникам безкоштовний доступ до різноманітних інструментів для обробки зображень і відео. Бібліотека написана на C++ і має обгортки для Python, Java, а також підтримує різні платформи, включаючи Windows, Linux та macOS. OpenCV забезпечує високу продуктивність і ефективність, завдяки чому її широко використовують у дослідницьких та комерційних проектах. Це робить OpenCV одним із найбільш популярних інструментів у сфері комп'ютерного зору.

У OpenCV реалізовано безліч алгоритмів для обробки зображень, включаючи фільтрацію, сегментацію, детекцію об'єктів, аналіз руху та багато інших. Серед найбільш відомих алгоритмів є алгоритми для обробки зображень в реальному часі, такі як алгоритми Хаара для детекції облич, SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) та SURF (Speeded-Up Robust Features). Крім того, OpenCV включає функції для роботи з глибокими нейронними мережами, що дозволяє розробникам імплементувати сучасні моделі глибокого навчання для складніших завдань комп'ютерного зору.

Розпізнавання облич за допомогою OpenCV є однією з основних функцій бібліотеки. Використовуючи алгоритми детекції облич, такі як каскадні класифікатори Хаара, розробники можуть швидко і ефективно виявляти обличчя на зображеннях або у відео. Процес розпізнавання зазвичай включає в себе завантаження зображення, застосування попередньо навчених класифікаторів, а також виконання подальшого аналізу, такого як ідентифікація осіб або аналіз емоцій, за допомогою методів глибокого навчання.

OpenCV є надзвичайно корисною бібліотекою для розробників, які працюють у сфері комп'ютерного зору. Її потужні можливості, велика кількість

реалізованих алгоритмів і підтримка різних мов програмування роблять OpenCV універсальним інструментом для багатьох проектів. Завдяки легкій інтеграції з іншими бібліотеками і фреймворками, такими як TensorFlow і PyTorch, OpenCV залишається одним із найпопулярніших рішень для завдань розпізнавання облич і обробки зображень в цілому.

Іншою популярною бібліотекою є Dlib, написана на C++ з обгортками для Python. Вона забезпечує широкий спектр функцій, включаючи детекцію об'єктів, класифікацію, регресію та аналіз зображень. Dlib відзначається високою продуктивністю та точністю, особливо в задачах, пов'язаних із обробкою зображень і відео. Завдяки своїм алгоритмам, Dlib може бути використаний для побудови різних додатків, від систем безпеки до медичних технологій.

Однією з основних переваг Dlib є його алгоритми для розпізнавання облич, які забезпечують точну детекцію та аналіз облич. Бібліотека реалізує методи, засновані на навчанні моделей, зокрема алгоритм HOG (Histogram of Oriented Gradients) для детекції облич і методи, що використовують згорткові нейронні мережі для покращення точності. Dlib також надає функції для створення 68-ключових маркерів обличчя, що дозволяє детально аналізувати риси обличчя, що робить її ідеальною для розробки систем розпізнавання осіб і вивчення виразів обличчя.

Бібліотека `face_recognition` побудована на основі Dlib і забезпечує зручний інтерфейс для реалізації розпізнавання облич. Вона дозволяє розробникам легко інтегрувати функції розпізнавання облич у свої програми без глибоких знань у сфері комп'ютерного зору. `Face_recognition` використовує алгоритми Dlib для виявлення облич і обчислення векторів ознак, що дозволяє проводити швидку ідентифікацію облич у великих наборах даних. Це робить бібліотеку ідеальною для застосувань, які потребують розпізнавання ідентичності, таких як системи безпеки, управління доступом і персоналізація контенту.

Поєднання Dlib і `face_recognition` створює потужний інструмент для розробки додатків, що потребують розпізнавання облич. Dlib забезпечує

гнучкість та точність, а `face_recognition` пропонує простоту використання та швидкість інтеграції. Разом вони дозволяють розробникам легко реалізовувати складні задачі, пов'язані з комп'ютерним зором, і створювати інноваційні рішення для широкого спектра галузей. Це поєднання бібліотек є особливо цінним для тих, хто прагне швидко впроваджувати технології розпізнавання облич у свої проекти без необхідності глибокого занурення в алгоритми машинного навчання. Само тому остання буде і використана для організації додатку алгоритму з розпізнавання облич.

Розділ 3

Розробка веб-додатку з розпізнавання облич

3.1. Структура розробленого програмного забезпечення.

Для реалізації розпізнавання облич реалізовано веб-додаток. Він передбачає сторінку логування та реєстрації та особистий міні-кабінет. В особистому кабінеті передбачено завантаження у базу даних зображень. Завантаження реалізовується так: фізично фотографія записується у папку на диску, а шлях до неї зберігається у базі даних. Під час завантаження додано валідацію, яка передбачає перевірку наявності облич. Зокрема:

- 1) перевіряється чи на фотографіях є обличчя;
- 2) перевіряється чи на фотографії є одне обличчя. Фотографії, де детектування більше одного обличчя на пропускаються;
- 3) допускається завантаження фотографій парами по дві;
- 4) розмір фотографії не має перевищувати 2Мб.

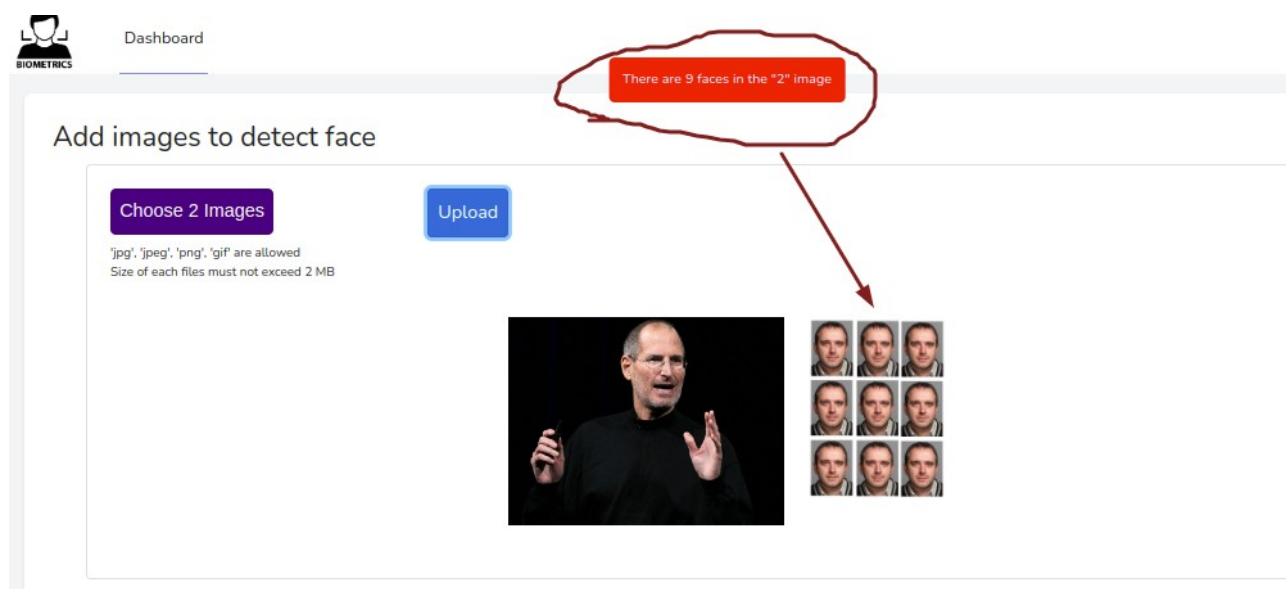


Рисунок 3.1. Повідомлення про вілідації, що є спроба завантажити картинку, що містить 9 облич.

Останні два пункти валідації є не дуже хорошими з точки зору зручності, однак ми його використали у з метою економії ресурсів на сервері. На потужніших серверах це обмеження можна зняти і перевірку 1 і 2 виконувати як завдання у фоні (на зразок крон-тасків). Лише після вдалої валідації зобразити завантажені фото у кабінеті. Візуально це показано на рис. 3.1

Після завантаження користувач бачить фотографії нижче. Також реалізовано пагінацію (рис. 3.2). У пагінації реалізовано виведення зменшених (оптимізованих зображень), щоб при завантаженні сторінки ресурс завантаження був меншим.

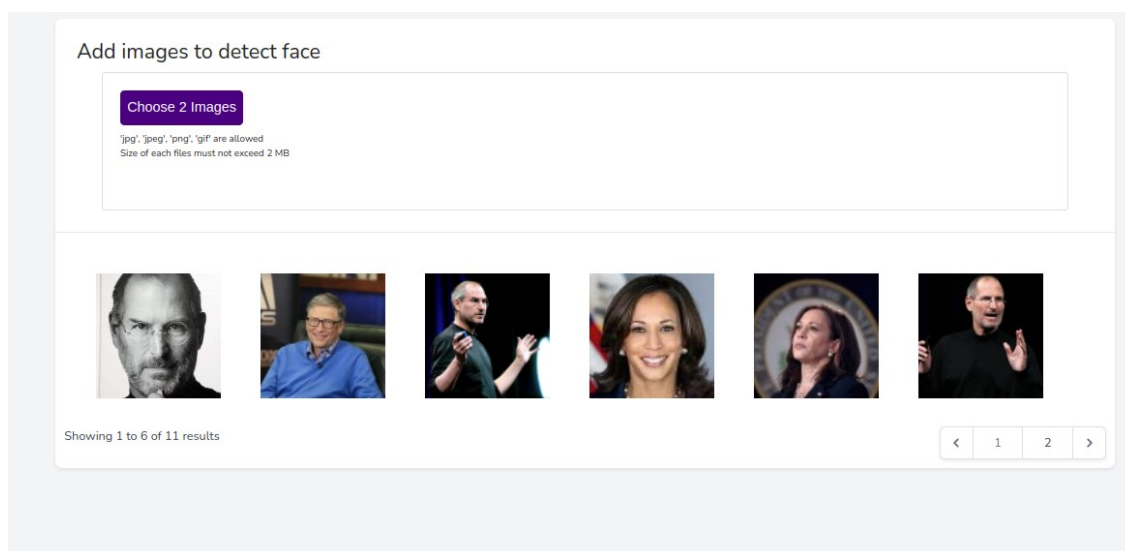


Рисунок 3.2. Завантажені фотографії і пагінація.

Додаток передбачає можливість вибору фотографії і пошук подібної. Для цього слід клікнути на довільне фото і появиться попап зі збільшеним зображенням і кнопкою пошуку фотографії зі схожим обличчям. Після запуску алгоритму пошуку схожих виводиться новий попап з вихідним зображенням і знайденим подібним обличчям. Пошук подібних реалізовується з-поміж зображень, які належать авторизованому користувачу. Візуально це виглядає так як на рис. 3.3-3.4

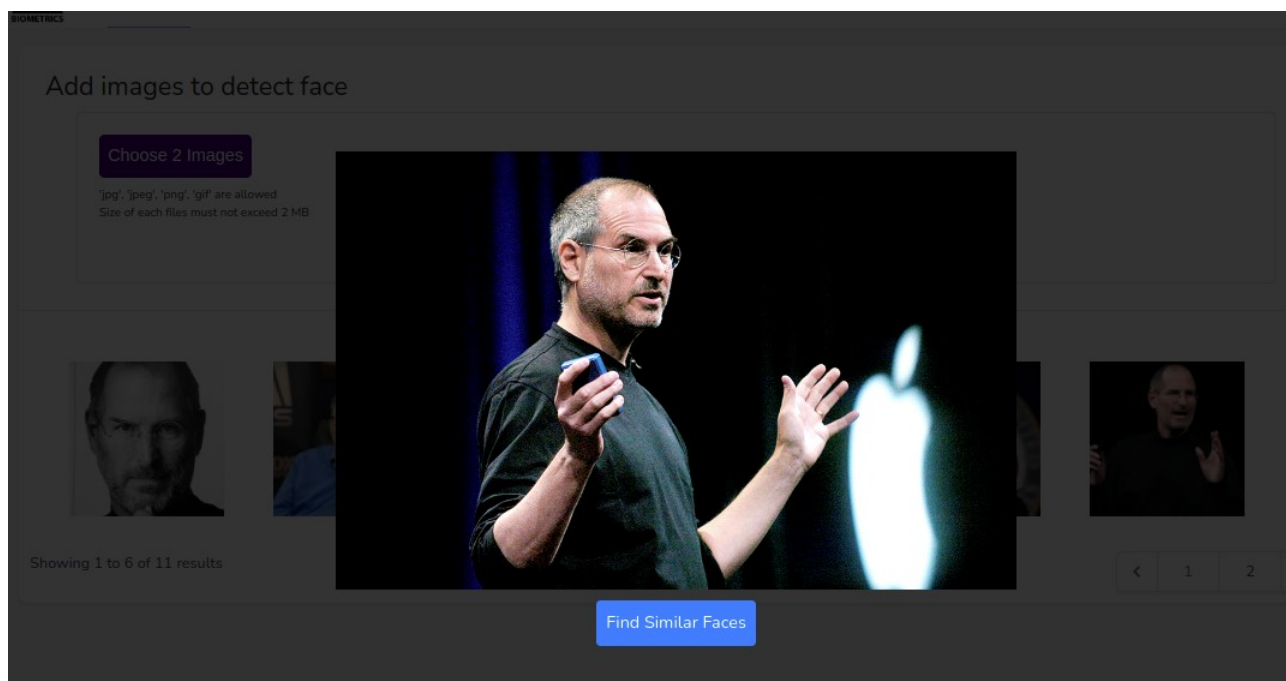


Рисунок. 3.3. Поап фотографії з обличчям і кнопка для пошуку подібного обличчя.

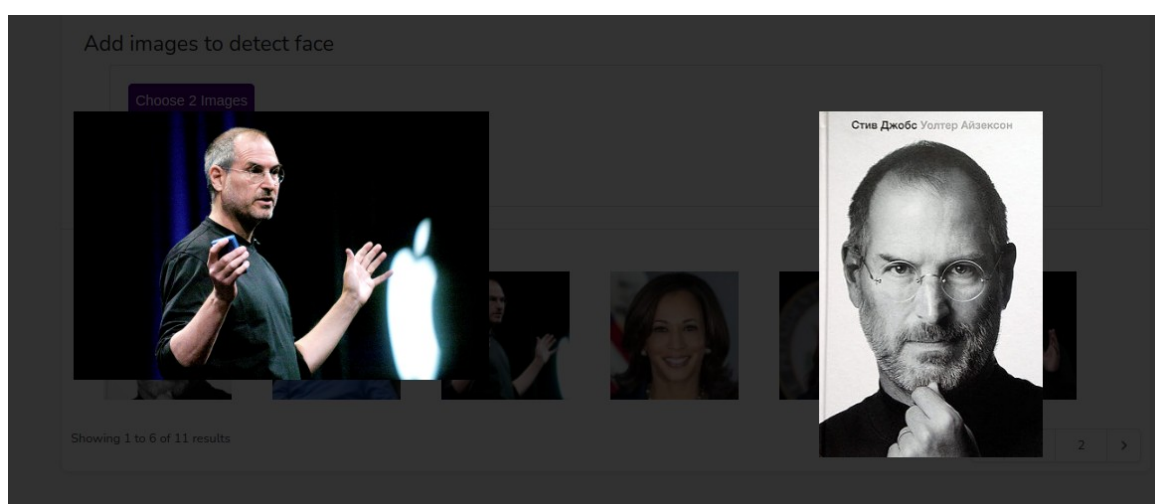


Рисунок 3.4. Знайдені подібні обличчя.

У коді враховано, що неможливості знайти подібне чи інших помилок, відповідні повідомлення виводяться. Також до кожного тривалого процесу передбачено появу прелоудера.

3.2. Використані технології у розробленні та реалізація розпізнавання облич

Для розроблення і запуску веб-додатку використано технологію контейнеризації Docker [8]. Для цього написано `dockker-compose.yaml` файл, в який включено такі сервіси:

- 1) `nginx:1.21.6` [9] — веб-сервер, де вказано тільки 2 volumes, - шлях до папки з веб-додатками і з налаштуванням конфігу `nginx`;
- 2) `mysql:5.7.34` [10] — сервер БД. Тут додано один volume, щоб зберігати файли БД при перезапуску докера;
- 3) `phrmyadmin/phrmyadmin:5.1.1` [11] для зручності керування БД;
- 4) зібрано образ `php` [12] на основі докер-файлу.

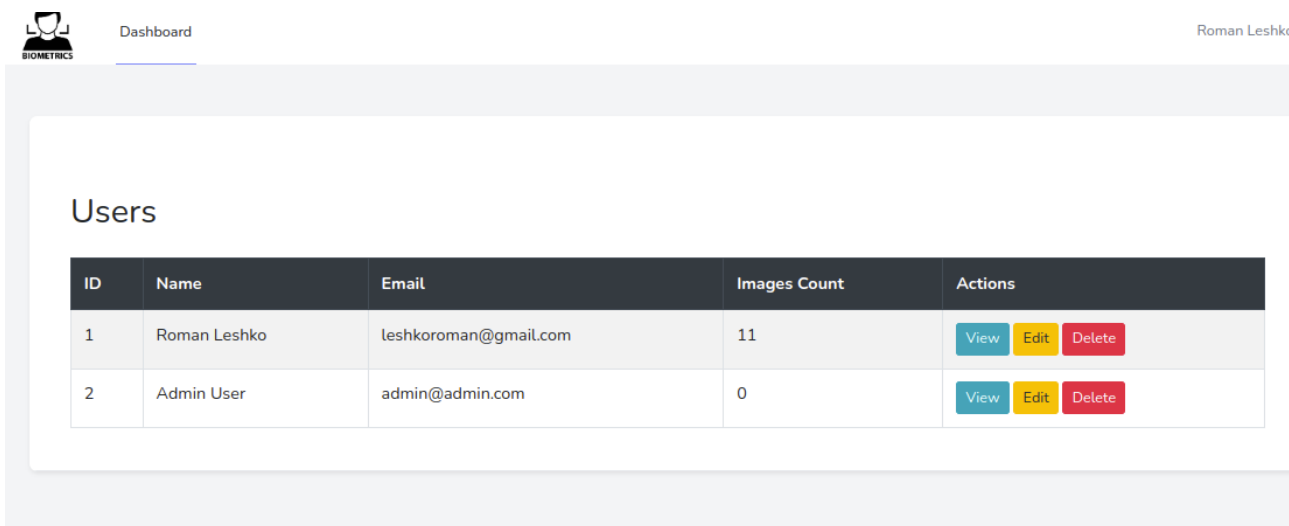
Докер-файл зібрано на основі образу `php:7.4-fpm` з установленими необхідними пакетами і розширеннями `php`, менеджером пакетів `composer` [13], які необхідні для роботи фреймворка `Laravel` [14] та опрацювання зображень. Тут же у цьому образі додано лейаути для розгортання `python` [15], менеджера пакетів `pip`, і необхідних бібліотек (`dlib` [16] і `face_recognition` [17]) для розпізнавання облич. Усе це було збілджено і розгорнуто докер-середовище.

Для реалізації веб-інтерфейсу використано `php`-фреймворк `Laravel8`. Для роботи зі стилями і скриптами використано `Laravel-mix`, для роботи якого необхідно `npm` [18] і `NodeJs` [19]. Це було встановлено поза докер-контейнером і розгорнуто лише на локальному середовищі розробки.

Усі необхідні файли додано у гіт-репозиторій для зручності розробки і для розгортання на реальному сервері.

Серцевиною проекту є два алгоритми, що написані на мові `python`. Звернення до них відбувається за допомогою команди `shell_exec`. Результат роботи повертається назад у `ларавел`. Перший алгоритм на мові `python` передбачає перевірку чи зображення містить взагалі обличчя (додаток А), а другий алгоритм порівняння двох файлів з обличчями (додаток Б). Їхнє впровадження дає змогу виконувати розпізнання і порівняння облич.

Розроблений програмний продукт має на меті ознайомити користувача з функціоналом розпізнавання і пошуком схожих зображень у БД. Розроблений продукт може бути розширено, реалізуючи платні доступи до АПІ розпізнавання. Відповідні помилки, кількість розпізнавань, статистика по користувачах реалізовано в адмінській частині (рис.3.5).



ID	Name	Email	Images Count	Actions
1	Roman Leshko	leshkoroman@gmail.com	11	View Edit Delete
2	Admin User	admin@admin.com	0	View Edit Delete

Рисунок 3.5. Адмін-частина проекту.

Також в адмін-частині можна, переглядаючи користувача, бачити кількість вдалих і невдалих розпізнавань, до має змогу моніторити і вносити правки у код з розпізнавання з метою покращення розпізнавання.

Висновки

Отже, у запропонованій магістерській роботі здійснено дослідження, що дало змогу:

- визначити основні переваги та недоліки різних підходів, що використовуються у цій сфері. Це дало можливість сформулювати вимоги до власної системи, враховуючи найкращі практики та інновації в галузі комп'ютерного зору;
- обрати оптимальні інструменти для реалізації. Було розглянуто кілька популярних бібліотек, таких як `face\_recognition`, що забезпечує ефективність, простоту використання та точність, що є критично важливими для завдань розпізнавання.
- створити алгоритм розпізнавання та розробити веб-додаток, що є кінцевим етапом реалізації проекту. В результаті було побудовано повноцінну систему, яка виконує розпізнавання облич із високою точністю. Веб-додаток надає зручний інтерфейс для користувачів, інтегрований із сервісами, що забезпечують швидку і надійну обробку даних.

Список використаних джерел

1. Juwei L. Face recognition using kernel direct discriminant analysis algorithms / L. Juwei, N. P. Konstantinos, A. Venetsanopoulos // IEEE Transactions On Neural Networks. 2003. Vol. 14, No. 1. P. 117–126.
2. Lades M. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture / M. Lades, J. Vorbruggen, J. Buhmann // IEEE Transactions on computers. 1993. Vol. 42, No 3. P. 300 -310.
3. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, V. I Kauai // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2001. P. 511–518.
4. Lawrence S. Face Recognition: A Convolutional Neural Network Approach / S. Lawrence, C. L. Giles., C. Tsoita // IEEE Transactions on Neural Networks, Special Issue on Neural Networks and Pattern Recognition. 1997. Vol. 8, No 1. P. 98–113.
5. Amazon Rekognition [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL : <https://aws.amazon.com/rekognition/>.
6. Face++. [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL : <https://www.faceplusplus.com/>.
7. OpenAI. [Електронний ресурс] – Режим доступу : URL : <https://openai.com/>.
8. Docker [Електронний ресурс] — Режим доступу: URL : <https://www.docker.com/>.
9. Nginx [Електронний ресурс] — Режим доступу: URL : <https://nginx.org/en/>.
10. Mysql [Електронний ресурс] — Режим доступу: URL : <https://www.mysql.com/>.
11. Phpmyadmin [Електронний ресурс] — Режим доступу: URL : <https://www.phpmyadmin.net/>.

12. Php [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://www.php.net/>.
13. Composer [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://getcomposer.org/>.
14. Php framework Laravel [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://laravel.com/>.
15. Welcome to Python.org [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://www.python.org/>.
16. Dlib <https://pypi.org/project/dlib/>.
17. Face Recognition [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://pypi.org/project/face-recognition/>
18. Npm [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://www.npmjs.com/>.
19. NodeJs [Электронный ресурс] — Режим доступа: URL : <https://nodejs.org/en>.

Додаток А

Програма на мові python для розпізнавання кількості облич або їхньої відсутності на фотографії

```
code > bin > detect_face.py > ...
1  import face_recognition
2  import sys
3
4  # Отримуємо шлях до зображення з аргументів командного рядка
5  image_path = sys.argv[1]
6
7  def count_faces(image_path):
8      # Завантажуємо зображення
9      image = face_recognition.load_image_file(image_path)
10     # Отримуємо кодування облич
11     face_encodings = face_recognition.face_encodings(image)
12
13     # Повертаємо кількість облич, знайдених на зображенні
14     return len(face_encodings)
15
16 # Перевіряємо кількість облич на зображенні
17 face_count = count_faces(image_path)
18
19 # Логіка для виведення результатів
20 if face_count == 1:
21     print(1) # Одне обличчя на зображенні
22 elif face_count == 0:
23     print(0) # Немає жодного обличчя
24 else:
25     print(face_count) # Виводимо кількість облич, якщо їх більше одного
26
```

Додаток Б

Програма на мові python для порівняння облич

```
code > bin > compare.py > ...
1  import face_recognition
2  import sys
3
4  im1 = sys.argv[1]
5  im2 = sys.argv[2]
6
7  results = face_recognition.compare_faces(
8      [face_recognition.face_encodings(face_recognition.load_image_file(im1))[0]],
9      face_recognition.face_encodings(face_recognition.load_image_file(im2))[0]
10 )
11 print(1 if results[0] else 0) # Виводимо 1 або 0 залежно від результату порівняння
12
13
14 # "1" - картина 1 і 2 містять однакові обличчя
15 # "0" - картина 1 і 2 НЕ містять однакові обличчя
16
```