

Хмельницький національний університет
Факультет програмування
та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра комп'ютерної інженерії та системного програмування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі

Raspberry Pi.

Назва теми

КвРКІ 180123.18.01.21 ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-18-1



Підпис

А.О.Шудрик

Ініціали, прізвище

Керівник



Підпис, дата

К.Ю. Бобровнікова

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер



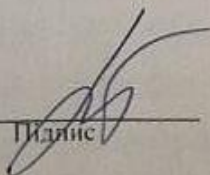
Підпис, дата

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем



Підпис

Т.О. Говорущенко

Ініціали, прізвище

« 1 » 06 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

“ 01 ” 03 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Шудрику Андрію Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Керівник проекту (роботи) Бобровнікова К.Ю., к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 02.06.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Дослідження розпізнавання емоцій обличчя та постановка задачі

Проектування програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Програмно-апаратна реалізація та тестування програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.



5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Схеми апаратних з'єднань

Інтерфейси програмно-апаратного засобу

Блок-схеми програм

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання виконав
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІСП		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІСП		

7. Дата видачі завдання « 00 » _____ 00 _____ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	ви
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2022	ви
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2022	ви
4	Робота над розділом 2 – проектування підсистеми	01.04.2022	
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація підсистеми	30.04.2022	
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.05.2022	
7	Попередній захист ВКР	24.05.2022	
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2022 року	


Студент


Підпис

А.О.Шудрик

Ініціали, прізвище

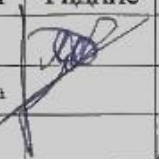
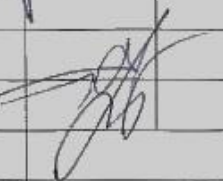
Керівник проекту (роботи)


Підпис

К.Ю. Бобровнікова

Ініціали, прізвище

№ р я д к а	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л ь с т і в	№ ск з	П р и м і т к а
1		КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Текстові документи Пояснювальна записка	68		
2		КВРКІ 180123.18.01.21 E8	Графічні матеріали Блок-схеми програм	1		
3		КВРКІ 180123.18.01.21 E7	Інтерфейси програмно- апаратного засобу	1		
4		КВРКІ 180123.18.01.21 E6	Схема апаратних з'єднань	1		

КВРКІ 180123.18.01.21 ВП				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Шуарик		
Перевір.		Бобровнікова		
Н. контр.		Лисенко		
Затв.		Говорущенко		
Відомість проекту			Літера	Аркуш
			У	1
			ХНУ, КІ-18-1	
Аркушів				
68				

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi».

Автор роботи: Шудрик Андрій Олександрович.

Керівник роботи: Бобровнікова Кіра Юліївна.

Пояснювальна записка: 68 с., 53 рис., 2 табл., 3 дод., 34 джерел.

Графічна частина: 0 презентаційних слайдів.

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ, RASPBERRY PI, НЕЙРОННА МЕРЕЖА.

Метою роботи є проектування та реалізація програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi для автоматизації аналізу емоцій обличчя людей.

Об'єктом дослідження є алгоритми розпізнавання виразу обличчя людини в реальному часі за допомогою машинного навчання (DL) та архітектура побудови систем розпізнавання емоцій обличчя для їх агрегації, аналізу та класифікації.

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Практична цінність дослідження полягає в спроектованому та реалізованому програмно-технічному засобі для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, що надає можливість агрегування даних класифікації емоцій обличчя та визначення емоційного стану людини.

Підпис





Підпис студента

01.06.2022

Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	5
1.1 Концепція розпізнавання емоцій обличчя.....	7
1.2 Порівняльний аналіз існуючих рішень.....	9
1.3 Згорткова нейронна мережа як засіб розпізнавання емоцій обличчя.....	12
1.3.1 Згортковий шар.....	13
1.3.2 Об'єднуючий шар.....	14
1.3.3 Повноз'єднаний шар.....	16
1.4 Огляд платформи для побудови моделі.....	16
1.5 Постановка задачі.....	19
2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI.....	21
2.1 План виконання роботи.....	21
2.2 Алгоритми реалізації програмного коду.....	22
2.3 Підбір компонентів для реалізації програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.....	26
2.4 Апаратні з'єднання компонентів системи.....	28
2.5 Встановлення операційної системи.....	29
2.6 Налаштування робочого середовища.....	33
2.7 Висновки.....	38
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI.....	39
3.1 Реалізація апаратних з'єднань пристрою захоплення зображення.....	39

№	Арк	№ док.ум.	Підпис	Дата				
Виконав		Шулрик А.О.			Програмно технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Бобровнікова К.Ю.					2	68
І.контр.		Лисенко С.М.			ХНУ, КІ-18-1			
атвер.		Говорущенко Т.О.						

FACS - Facial Action Coding System
FER – Facial Emotion Recognition
AI – Artificial Intelligence
CV – Computer Vision
CNN – Convolutional Neural Network
ReLU – Rectified Linear Unit
DL – Deep Learning
ML – Machine Learning
EV – Expressional Vector
GPIO – General-purpose input output
RCS – Radio Corporation of America
USB – Universal Serial Bus
HDMI – High Definition Multimedia Interface
ОС – Операційна система
IP – Internet Protocol
SSH – Secure Shell
OSI – Open System Interconnection model
BIOS – Basic Input-Output System
IDE – Integrated Development Environment
ПЗ – Програмне забезпечення
PIC – Peripheral Interface Controller
ІОТ – Internet of things
LAN – Local Area Network
USB – Universal Serial Bus
REST – Representational State Transfer
API – Application programming interface

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						3
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розпізнавання емоцій є областю дослідження, яка охоплює дві різні теми: психологічне визначення емоцій людини та штучний інтелект (AI). Емоційний стан людини можна тримати із невербальних та вербальних даних, які можуть бути отримані за допомогою різних датчиків, до прикладу зміна емоцій, тембр голосу, та психологічні сигнали. Інформація, отримана із виразу обличчя передає близько 55% інформації, із голосу – близько 38%, а із мова лише 7%. Із цього зрозуміло, що в порівнянні із усією інформацією, отриманою від людини, інформація отримана із виразу обличчя є найважливішою для емоційного розуміння.

Розпізнавання емоцій обличчя (FER) – технологія, що використовується з метою аналізу прояву почуттів та настрою із різних джерел, таких як відео та фото. Вона належить до групи технологій обчислення емоцій (affective computing), що є багато дисциплінарною галуззю досліджень на тему можливості комп'ютерів розрізняти та розуміти людські емоції. Часто такі технології будуються на основі штучного інтелекту.

Потенціал використання розпізнавання емоцій обличчя може мати широкий обсяг сфер застосувань, до прикладу : надання персоналізованих послуг; реклама; медицина; працевлаштування; освіта; громадська безпека; розкриття злочинів.

Окрім цього розпізнавання емоцій використовується в сферах які вимагають додаткової безпеки або інформації про особу та може бути додатковим кроком розпізнавання обличчя із додатковим шаром безпеки, який визначає не тільки обличчя, а і емоцію. Такий метод розпізнавання обличчя дозволяє підтвердити що пере камерою знаходиться жива людина, а не її зображення.

Метою роботи є проектування та реалізація програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi для автоматизації аналізу емоцій обличчя людей.

Об'єктом дослідження є алгоритми розпізнавання виразу обличчя людини в реальному часі за допомогою машинного навчання (DL) та архітектура побудови систем розпізнавання емоцій обличчя для їх агрегації, аналізу та класифікації.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Практична цінність дослідження полягає в спроектованому та реалізованому програмно-технічному засобі для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, що надає можливість агрегування даних класифікації емоцій обличчя та визначення емоційного стану людини.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Концепція розпізнавання емоцій обличчя

Емоції є одними із ключових виразів соціальної взаємодії між людьми. Із їх допомогою люди виражають почуття в залежності від ситуації та становища, та посилаємо сигнал для оточення. Таким чином, інші люди можуть сприймати розпізнавати емоції та відповідно на них реагувати.

Вирази емоцій, які можуть з'являтися на лиці людини класифікуються як: щастя, страх, здивування, сум, огида, сумнів та нейтральний вираз обличчя. Зміни положення м'язів є досить незначними, тому завдання їх виявлення є досить складним, оскільки мінімальна зміна положень м'язів може призводити до зміни виразу обличчя, та в свою чергу зміни емоції. Окрім цього, вирази обличчя різних людей можуть відрізнятися при вираженні однієї і тієї ж емоції, яка сильно залежить від контексту.

Для вирішення завдань розпізнавання емоцій та їх класифікації використовуються нейронні мережі та машинне навчання (ML). При створення систем розпізнавання емоцій на обличчі виникає ряд проблем, які необхідно вирішити, для досягнення більш точних результатів. Загалом технології, які використовують для розробки моделей розпізнавання емоцій описані в статті [1].

Розпізнавання емоцій обличчя (FER) – технологія, що використовується з метою дослідження емоційного виразу обличчя з різних ресурсів, в особливості відео та фото. Розпізнавання емоцій обличчя має досить велику цінність в деяких наукових сферах. До прикладу, вивчення поведінки людей та використання для соціальних досліджень надаючи інформацію про стать, расу та вік людини; також розпізнавання емоцій використовується в інтерактивних комп'ютерних іграх та в системах охорони та спостереження чи захисту даних.

Технологія відноситься до сфери багатодисциплінарної галузі обчислення емоцій (affective computing), для дослідження в якій, використовуються комп'ютерні обчислення, зокрема штучний інтелект (AI).

Розпізнавання емоцій (FER) вміщує у собі три стадії:

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- 1) розпізнавання обличчя;
- 2) виявлення виразу обличчя;
- 3) класифікація емоційного стану виявленого виразом обличчя.

Визначення емоцій ґрунтується на дослідженні орієнтирів обличчя (ніс, брови, губи). У відео форматі, також, досліджуються зміни в положенні орієнтирів для виявлення скорочень в групі мімічних м'язів. Статті [2][3][4][5][6][7] описують найпопулярніші стратегії класифікації емоцій, які використовувалися в проєктах за останні роки. Попри те, що для людей визначення емоцій є тривіальною та важливою для соціального життя задачею, визначення емоцій комп'ютером постає досить складним завданням. Складність полягає в мінливості та варіативності даних на зображення, поза голови людини на зображенні, особливості рис конкретної людини, освітлення середовища та хаосу на зображенні.

Під час розпізнавання емоцій найважливішим є завдання вилучення ознак із зображення, оскільки якість векторів ознак безпосередньо впливає на продуктивність та якість класифікації емоцій. Із цього виходить, що метод вилучення ознак повинен бути якомога точнішим та надійним. Окрім того, методи вилучення ознак низького рівня не можуть використовуватися для вилучення ознак на високому рівні. Тому для таких завдання використовують глибинне навчання (DL), що успішно допомагає у визначенні ознак та спрощує завдання розпізнавання емоцій.

Останніми роками найпопулярнішим методом глибинного навчання (DL) для виділення векторів ознак вважається згорткова нейронна мережа (CNN) [8]. Ріст популярності згорткових нейронних мережа завдячується якісним представленням даних та можливості запуску процесу згортання на графічному процесорі, що призводить до підвищення швидкості виконання завдань розпізнавання рис обличчя.

Якість визначення емоцій алгоритмом залежить від величини та різноманітності тренувальної бази даних. Наразі існує велика кількість баз даних із зображеннями емоцій людей та їх класифікацією, які були створені саме із ціллю навчання алгоритмів розпізнавання емоцій. Бази зображень для навчання

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

нейронних мереж розпізнавання емоцій обличчя описані в статтях [9][10].

Найпопулярніші бази зображень:

- 1) AffectNet;
- 2) Extended Cohn-Kanade Dataset;
- 3) FER-2013;
- 4) EMOTIC;
- 5) Google Facial Expression Comparison Dataset.

Наявність великої кількості зображень різноманітних емоцій людей дозволяє алгоритму точніше виявляти та класифікувати емоції в роботі.

1.2 Порівняльний аналіз існуючих рішень

В сфері дослідження штучного інтелекту та комп'ютерного зору досить багато комерційних та некомерційних компаній які досягають успіхів у розробці технологій розпізнавання та класифікації емоцій людей. Для порівняльної характеристики розглянемо декілька проектів, націлених на розпізнавання емоцій обличчя людини.

Affectiva – комерційна компанія, яка розробляє технологію Emotion AI, яка здатна визначати емоції та когнітивні реакції клієнтів. Ціль технології – дати можливість організаціям зрозуміти, що відчувають їх глядачі та клієнти, якщо вони не можуть чи не мають бажання робити відгук. Демонстрація роботи сервісу показана на рисунку 1.6

Отримані дані компанія може використати з метою покращення досвіду користувача та комунікацій із брендом, улагодження позитивного відношення із клієнтами та оптимізації дій, які впливають на результат.

Emotion AI спеціалізується в трьох напрямках:

- 1) тестування реклами;
- 2) тестування розважального контенту;
- 3) громадські опитування.



Рисунок 1.6 – Демонстрація роботи розпізнавання обличчя технологією Emotion AI [10]

Переваги Emotion AI:

- 1) розпізнавання семи видів емоцій та двадцяти рис виявлення емоцій;
- 2) для інтеграції сервісу достатньо веб-камера та інтернет з'єднання;
- 3) для навчання мережі використовувалось більш ніж 9 мільйонів фотографій обличчя людей;
- 4) надання даних для аналітики.

До недоліків сервісу можна віднести :

- 1) неможливість змінювати налаштування;
- 2) відсутність контролю над навчанням мережі;
- 3) зберігання даних на сторонньому сервісі.

Wantent – платформа для аналізу даних на основі штучного інтелекту, яка надає інформацію про враження аудиторії.

Головним завданням продукту є фіксування реакції глядачів на будь-який відео-контент та оцінює відношення та зацікавленість глядачів під час перегляду, та пропонує рекомендації з приводу покращення. Приклад роботи платформи зображено на рисунку 1.7.

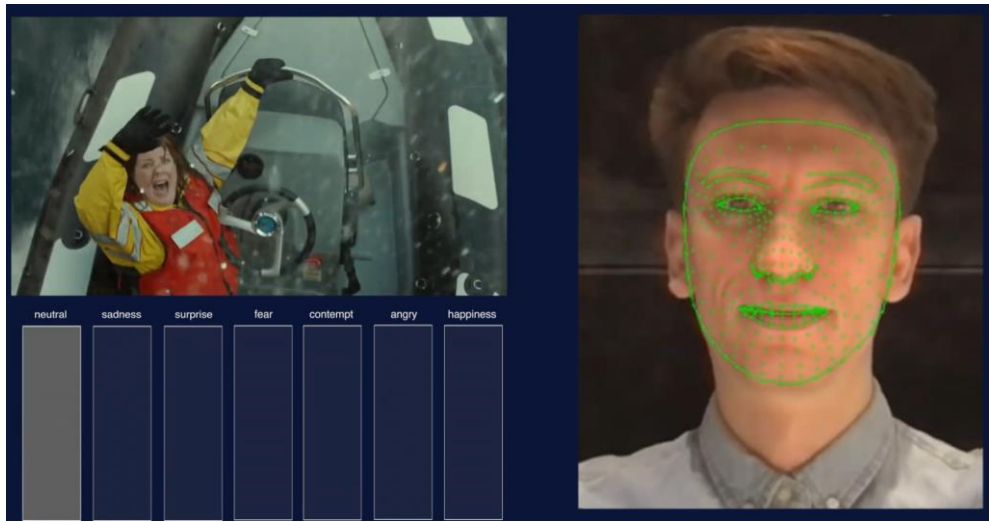


Рисунок 1.7 – Розпізнавання емоції обличчя технологією Wantent [11]

Окрім цього, сервіс визначає зацікавленість глядачів в контенті та синхронність їх реакції.

До переваг сервісу можна віднести:

- 1) деталізована класифікація емоцій;
- 2) визначення захопленості відео-контентом базується на даних, отриманих із попередніх досліджень;
- 3) захист даних, що аналізуються.

Недоліками можуть бути:

- 1) відсутність контролю над аналізом даних та навчанням мережі.

EmoDetect – проект для визначення емоційного стану людини за зображенням обличчя. Для класифікації емоцій технологія використовує систему кодування лицьових рухів (FACS), яка використовує кодування виразу лиця, засноване на скороченнях рухових м'язів обличчя та їх сегментів. На рисунку 1.8 зображено приклад класифікації емоцій застосунком EmoDetect.

При класифікації емоцій мережа використовує три незалежні класифікатори: нейронну мережу, зважену суму ознак та систему вирішуючих правил. Також алгоритм адаптується до нейтрального виразу обличчя, унікального для кожної людини.

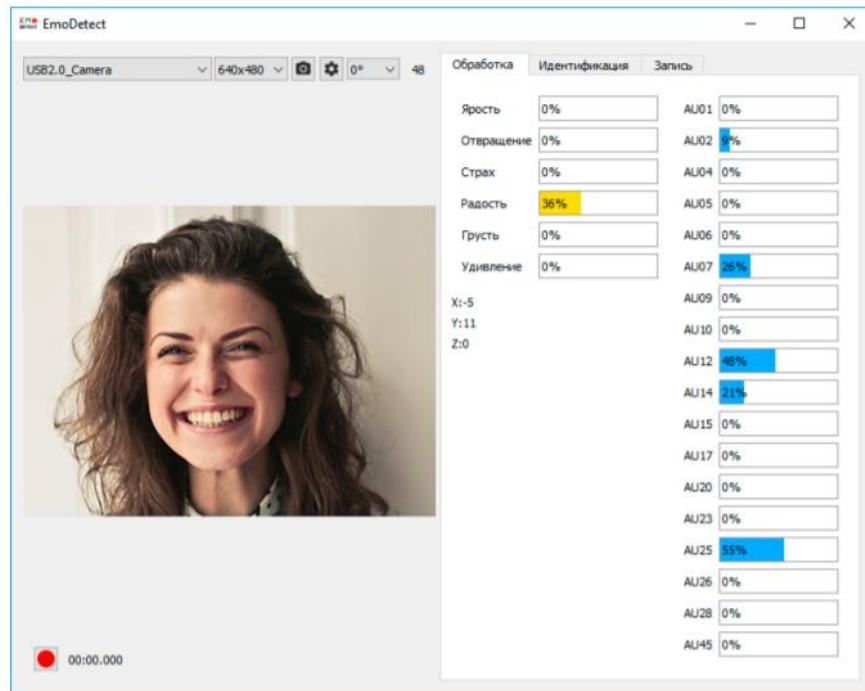


Рисунок 1.8 – Розпізнавання емоцій обличчя програмою EmoDetect [12]

Серед переваг технології можна виділити:

- 1) детальна інформація про обробку зображення;
- 2) доступ до налаштувань.

Недоліком програми може бути:

- 1) складність запуску;
- 2) важче вести аналіз великої кількості даних

1.3 Згорткова нейронна мережа як засіб розпізнавання емоцій обличчя

Згорткова нейронна мережа (CNN) є одним із найбільш популярних інструментів для аналізу зображень та відео. Згорткові нейронні мережі складаються із трьох типів шарів:

- 1) згортковий шар;
- 2) об'єднуючий шар;
- 3) повноз'єднаний шар.

1.3.1 Згортковий шар

Згорткові шари це місце, де на зображення або карту об'єктів застосовуються фільтри. Фільтри або ядра згортки призначені для аналізу сусідніх пікселів на зображенні. Як правило, фільтр має розмір 3×3 або 5×5 пікселів. Таким чином, фільтр застосовується на всі пікселі зображення, рухаючись із верхнього лівого кута зображення до правого нижнього, згортаючи зображення (рис. 1.1).

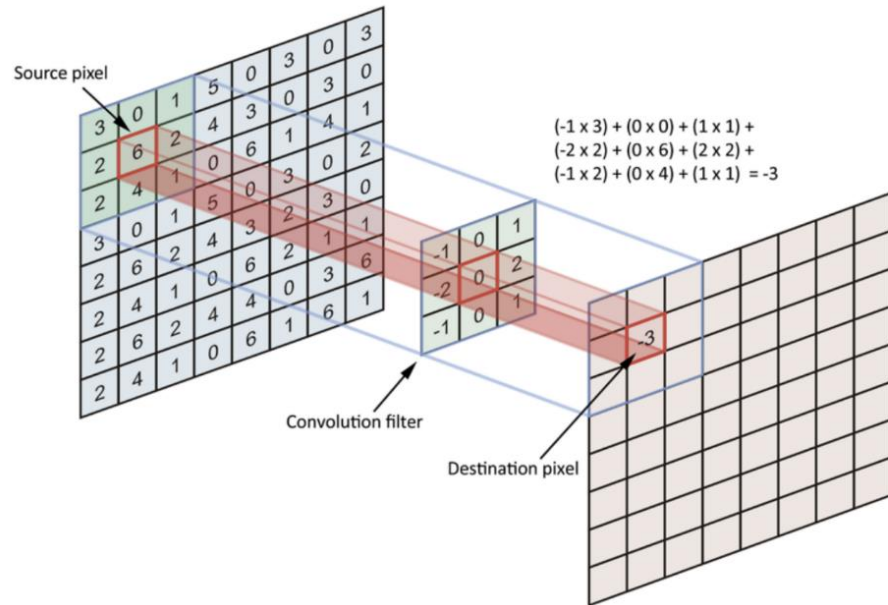


Рисунок 1.1 – Операція згортання [13]

В результаті отримаємо згорнуте зображення, розміри якого можна визначити за формулою:

$$W_{out} = (W - F + 2P) / S + 1, \quad (1.1)$$

де W – розмір сторони вхідного зображення;

W_{out} – розмір сторони вихідного зображення;

F – розмір сторони ядра згортки;

S – розмір кроку із яким ядро проходить по вхідному зображенню;

P – товщина заповнення рамки отриманого зображення нулями.

Після проходження фільтру генерується карта об'єктів, яка передається в функцію активації, для визначення присутності об'єктів на зображенні.

Для покращення нелінійності даних, взятих із зображення, після шарів згортки додаються додаткові нелінійні шари. Найпопулярнішою реалізацією нелінійного шару є шар зрізаних лінійних вузлів (ReLU) описаний в статті [9], який являє собою кусково-лінійну функцію, визначену як:

$$Y_i = \max(0, Y_i) , \quad (1.2)$$

де Y – вхідне значення нейрону.

Переваги використання шару зрізаних лінійних вузлів:

- 1) ефективно поширення градієнта;
- 2) обмежує від'ємні значення та розріджує дані;
- 3) складається із простих операцій, що не впливає на ефективність мережі.

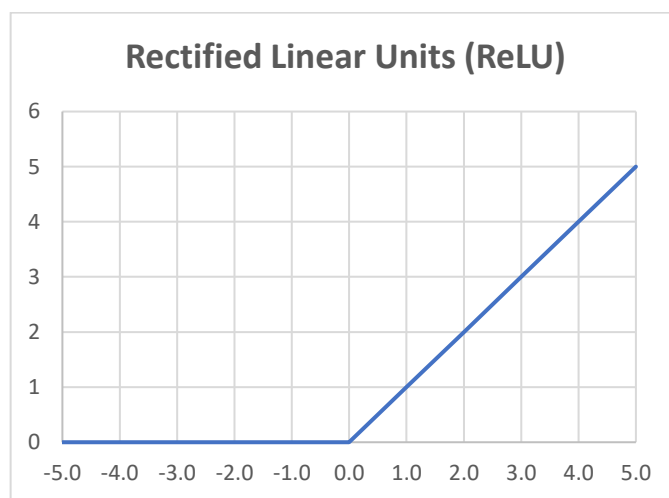


Рисунок 1.2 – Графік функції зрізаних лінійних вузлів

1.3.2 Об'єднуючий шар

Об'єднуючі шари діють за принципом згорткових шарів, але виконують функцію зниження дискретизації за рахунок агрегування пікселів. Об'єднуючий

шар слугує скороченню розмірів зображення та цим самим зменшує кількість параметрів для обчислення.

Найпоширенішою із реалізацій функції агрегування є максимізаційне агрегування. Максимізаційне агрегування діє як фільтр 2×2 та застосовується із кроком 2 та визначає найбільше значення із матриці 2×2, тим самим, зменшує зображення вдвічі (рис. 1.3).

Для визначення розмірів вихідного зображення, після застосування об'єднуючого шару використовується формула:

$$W_{out} = (W - F)/S + 1, \quad (1.3)$$

де W – розмір сторони вхідного зображення;

W_{out} – розмір сторони вихідного зображення;

F – розмір сторони ядра згортки;

S – розмір кроку із яким ядро проходить по вхідному зображенню.

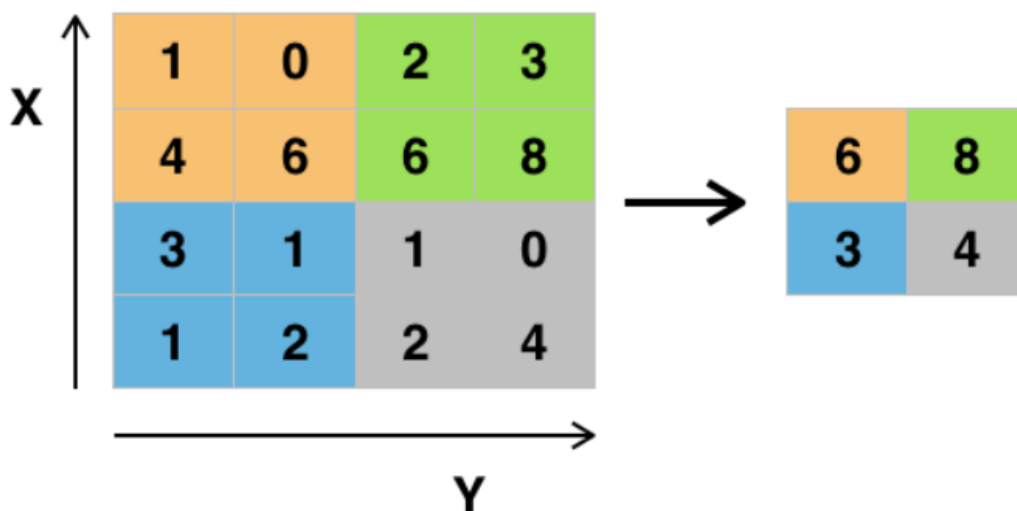


Рисунок 1.3 – Максимізаційне агрегування [9]

Різні шари фільтрів відповідають за елементи різної складності зображення за зростанням деталізації. Найперші фільтри призначені для розпізнавання базових елементів, таких як лінії, кола, кути. Наступні фільтри розпізнають елементи

обличчя такі як очі, вуха, ніс, брови, губи, підборіддя. Останні шари фільтрів працюють із загальним зображенням і розпізнають цілі об'єкти в різних положеннях. Таким чином, шари формують архітектуру мережі (рис. 1.5).

1.3.3 Повноз'єднаний шар

Повноз'єднаний шар призначений для агрегування інформації із карт об'єктів, створених попередніми шарами, та утворення результатів, готових для класифікації (рис. 1.4).

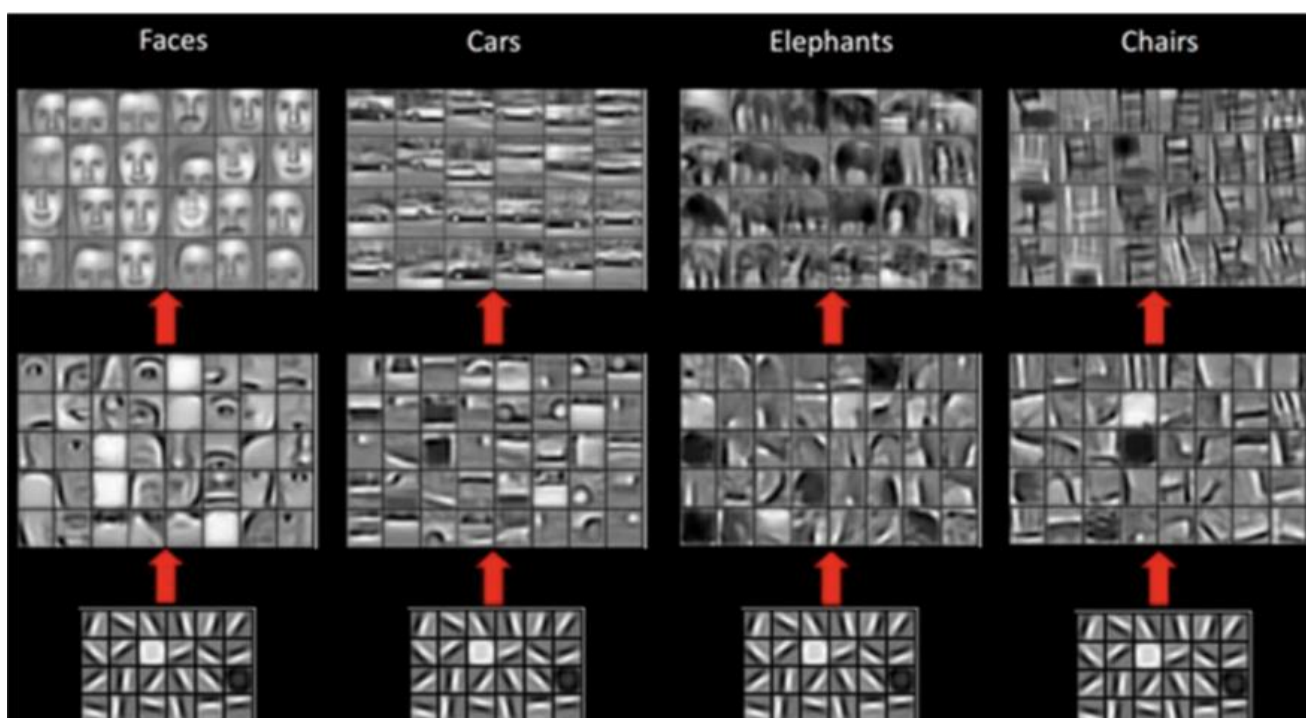


Рисунок 1.4 – Карти об'єктів для навчання фільтрів різних складностей [13]

1.1 Огляд платформи для побудови моделі

Для побудови програмно технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi вирішено використати мікрокомп'ютер Raspberry Pi. Raspberry Pi є одноплатним комп'ютером невеликого розміру (рис. 1.9), який розроблявся для навчання і був бюджетною платформою, який із часом набрав великої популярності серед виробників електроніки в побудові смарт систем.

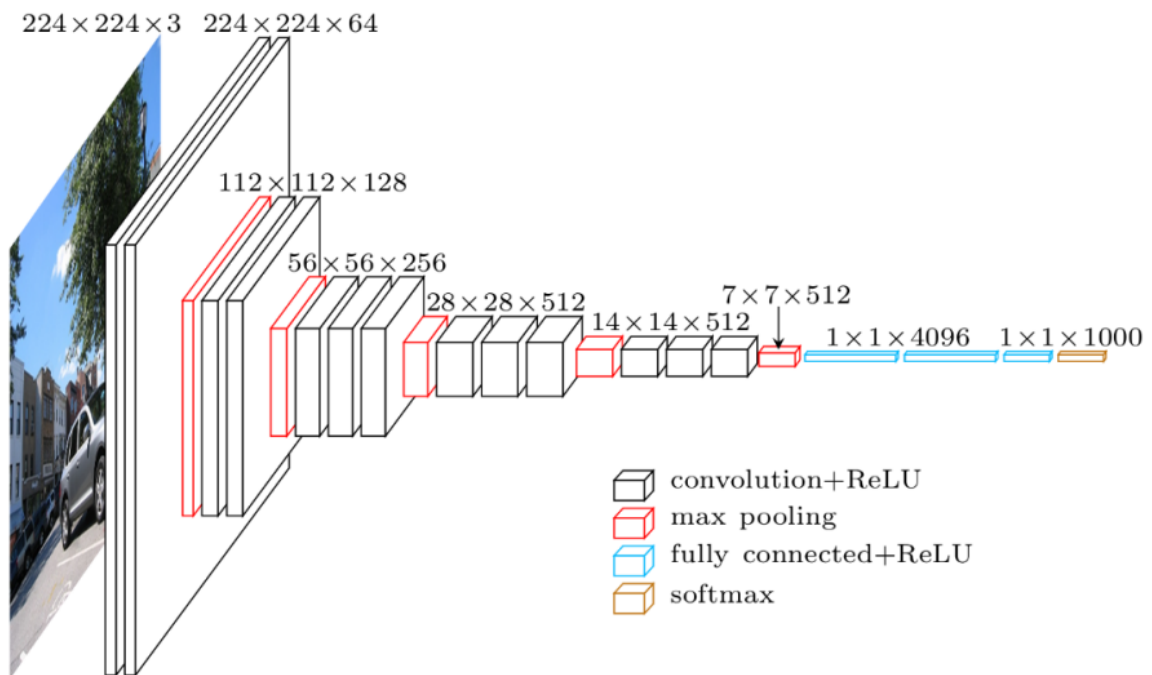


Рисунок 1.5 – Загальна архітектура згорткової мережі [10]

Raspberry Pi розроблена для роботи під операційними системами Linux. Raspberry Pi є проектом із відкритим програмним забезпеченням, його документація знаходиться у відкритому доступі та регулярно оновлюється.

Переваги побудови системи на Raspberry Pi:

- 1) повний та всебічний контроль над сервером;
- 2) вільний вибір програмного забезпечення та OS;
- 3) вільний вибір об'єму пам'яті на диску;
- 4) невелика вартість плати;
- 5) не потрібно робити додаткових налаштувань, щоб система працювала.

Із недоліків можна виділити:

- 1) вартість системи зростає при потребі додаткових датчиків та інших пристроїв, що підключаються до плати;
- 2) потрібно мати постійну IP адресу.

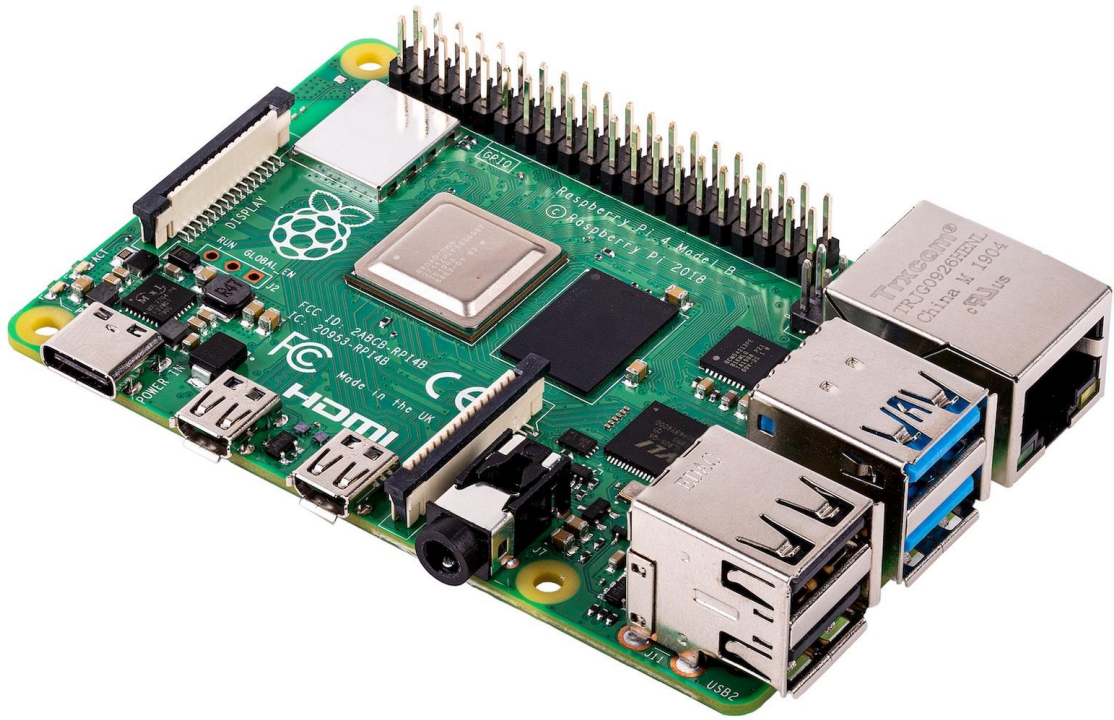


Рисунок 1.9 – Плата Raspberry Pi Model B [16]

Попри свою невисоку потужність, Raspberry Pi є повноцінним комп'ютером та може вирішувати найпростіші та середньої складності завдання, що не вимагають застосування потужних ресурсів в плані обчислень.

Комп'ютер Raspberry Pi може мати велику сферу застосувань та використовуватись у різних випадках, до прикладу:

- 1) сервер системи «розумний дім»;
- 2) сервер зберігання даних;
- 3) головний комп'ютер для автоматизованих роботів;
- 4) медіа-сервер.

Raspberry Pi є універсальним комп'ютером завдяки великій різноманітності та великій кількості інтерфейсів підключення периферійних пристроїв (рис. 1.10)

Існує дві основні версії комп'ютеру Raspberry Pi – Model A та Model B. Їх відмінність полягає в наявності Ethernet порту та додаткового USB порту для версії Model B. Обидві моделі оснащені процесорами GPU та CPU на архітектурі ARM, та портами GPIO, RCA, USB, HDMI, аудіо виходом та портом для CD карти.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

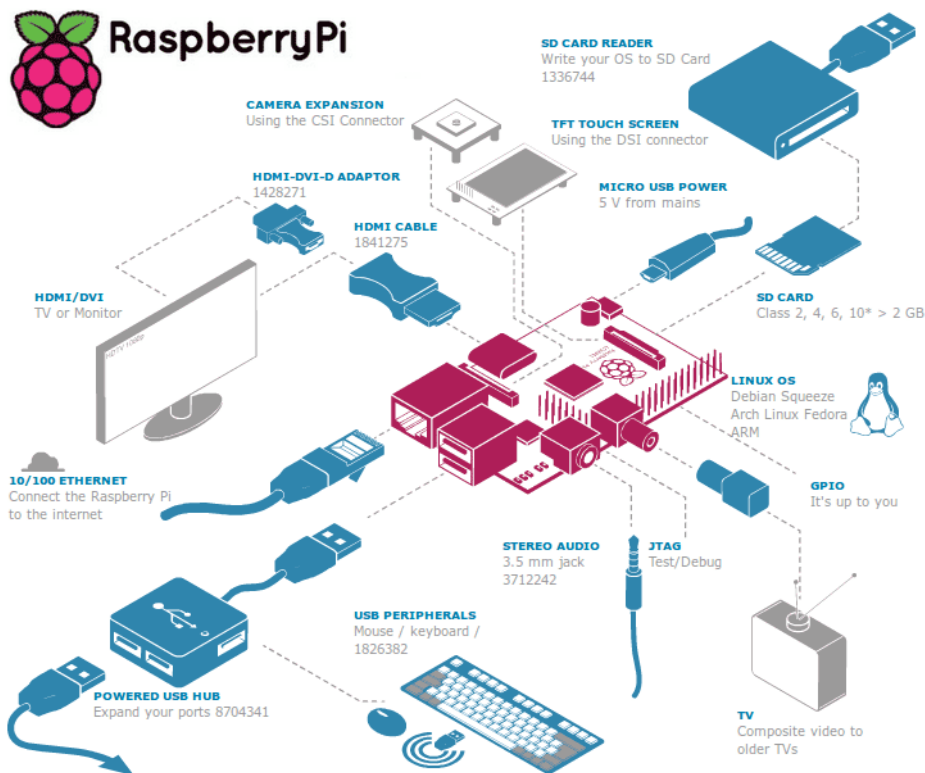


Рисунок 1.10 – Різноманітність інтерфейсів периферії Raspberry Pi [16]

1.2 Постановка задачі

На основі проведених досліджень, визначивши основні функції систем розпізнавання емоцій обличчя та сформувавши перелік функціональних та нефункціональних вимог, можна отримати модель функцій, які повинна виконувати система розпізнавання емоцій обличчя:

- 1) захоплення зображення, знаходження обличчя людини;
- 2) здійснення класифікації емоцій обличчя на зображенні;
- 3) компонування статистики виявлених емоцій.

Таким чином для реалізації завдання дипломної роботи необхідно:

- 1) підібрати апаратні складові для реалізації програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi;
- 2) спроектувати та реалізувати програмно-технічний засіб розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi;

3) розробити програму для програмно-технічного засобу розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi із залученням згорткової нейронної мережі;

4) провести навчання нейронної мережі на основі відкритих баз зображень;

5) провести тестування розробленого програмно-технічного засобу розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi .

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI

2.1 План виконання роботи

1. Виконується під'єднання усіх модулів до одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4. Підключення блоку живлення до порту мікро-USB. Підключення флеш накопичувача до порту USB 3.0. Підключення модуля камери до порту Camera SCI. Підключення Ethernet кабелю до порту Ethernet Rj45.

2. Встановлюється операційна система, встановлюються оновлення операційної системи, усі компоненти перевіряються на сумісність на справність.

3. Виконується налаштування робочого середовища, встановлюється середовище розробки Python, налаштовується ізольоване середовище для виконання коду та завантажуються необхідні, для виконання проекту залежності.

4. Налаштування віддаленого доступу для зручності написання програмного коду, оновлення програм, та завантаження допоміжних засобів, файлів та утиліт.

5. Завантажується база даних із тренувальними зображеннями емоцій людей у необхідному форматі.

6. Реалізовується код програми розпізнавання емоцій обличчя, код створення та тренування нейронної мережі.

7. Завантаження програми та запускається тренування мережі на вибраній базі зображень.

8. Виконується тестування програми на можливість розпізнавання емоцій переданого файлу зображення та відео із підключеного модуля камери.

9. Створення серверу та перенесення коду виконання тренування , розпізнавання та класифікації емоцій на сторону сервера та залишити захоплення зображення та його відправку на сервер на стороні плати.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Алгоритми реалізації програмного коду

Початок реалізації програмного коду полягає в створенні системи тренування нейронної мережі на основі бази даних із класифікацією емоцій. В програмі тренування мережі повинна бути створена сама мережа зі структурою шарів та фільтрів згорткової нейронної мережі. Оскільки усі зображення із навчальної бази попередньо відформатовані до потрібних параметрів можна уникнути перевірок форматування та редагування вхідних зображень. Наступним кроком буде вчитка нейронною мережею усіх тренувальних зображень та генерація файлу структури нейронної мережі та файлу нейронних з'єднань, побудованого під час вчитування класифікованих зображень. Алгоритм реалізації навчання мережі зображений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема реалізації тренування мережі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Реалізація розпізнавання емоцій полягає в отриманні зображення, приведення його до потрібного формату. Наступними кроками буде виклик визначення спектру емоцій за допомогою нейронної мережі та визначення емоції, що виражається найсильніше. Алгоритм реалізації розпізнавання емоцій зображено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму розпізнавання емоцій

Алгоритм роботи програми розпізнавання емоцій зображено на рисунку 2.3.

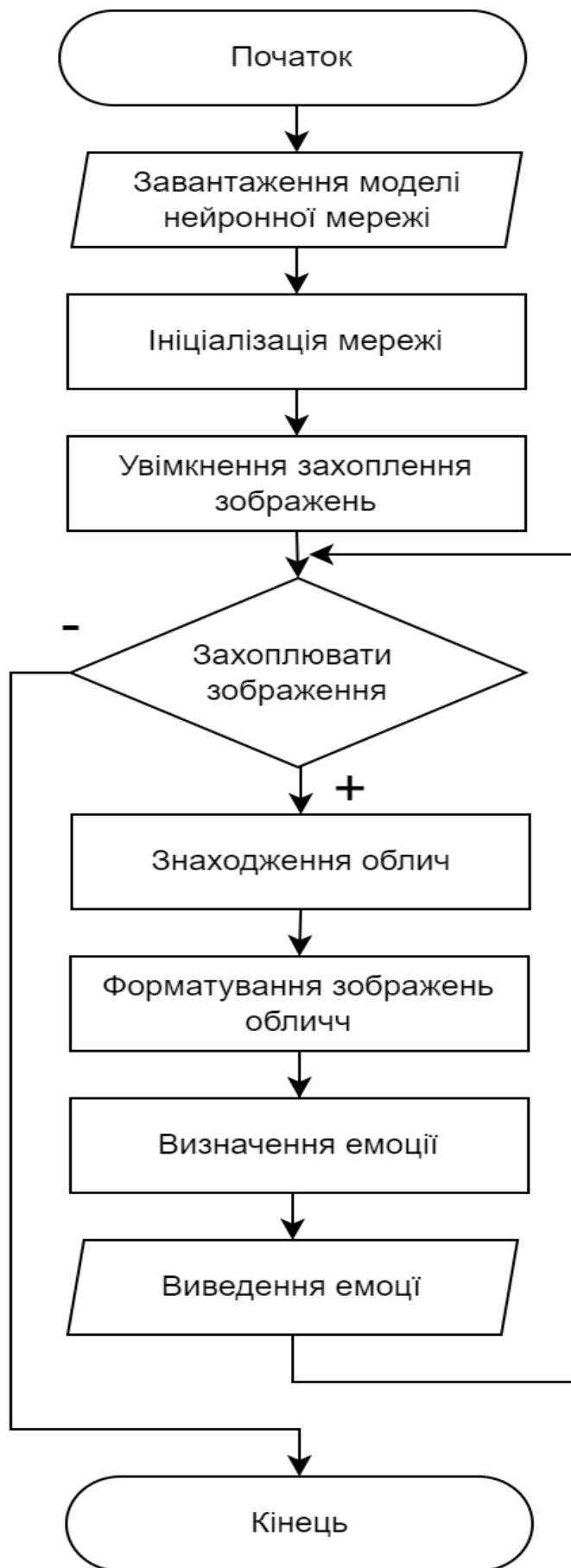


Рисунок 2.3 – Блок-схема роботи програми розпізнавання емоцій

Також необхідно реалізувати підпрограму для тестування точності алгоритму визначення емоцій. Для цього потрібно буде побудувати матрицю розбіжностей, які буде вказувати на скільки часто класифікація емоції на зображенні збігається із дійсною емоцією на відповідному зображенні. На рисунку 2.3 зображено алгоритм підпрограми тестування точності класифікації емоцій.



Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму тестування точності класифікації емоцій

2.3 Підбір компонентів для реалізації програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi

Платформою для реалізації проекту вибрана Raspberry Pi 4 Model B (рис. 2.1) на процесорі Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC 1.5GHz та оперативною пам'яттю типу LPDDR4-3200 SDRAM розміром 4 гігабайти.

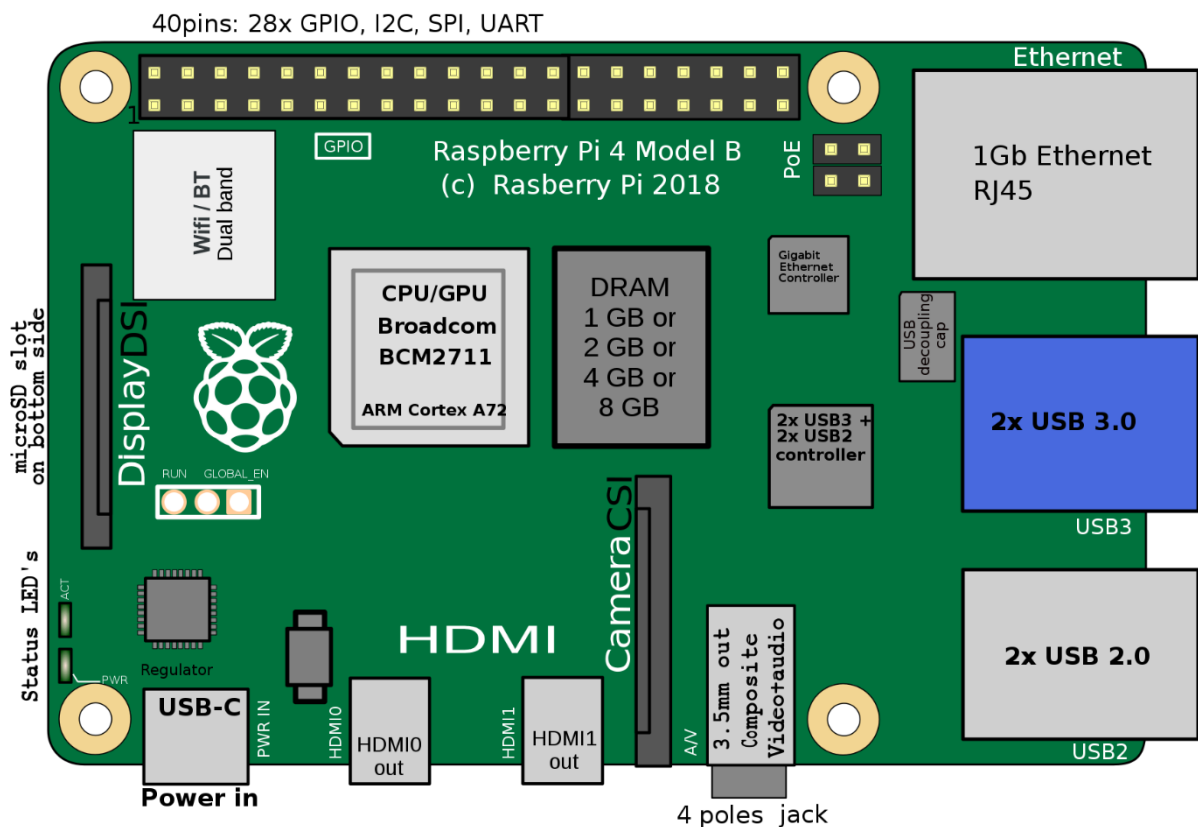


Рисунок 2.1 Схема Raspberry Pi 4 Model B

В якості камери вибрано модуль Raspberry Pi Camera Module 2 (рис. 2.2). Камера оснащена сенсором Sony IMX219 розміром 8 мега пікселів із роздільною здатністю до 1920×1080 пікселів. В ролі накопичувача встановлюється USB флеш накопичувач SAMSUNG MUF-64BE.

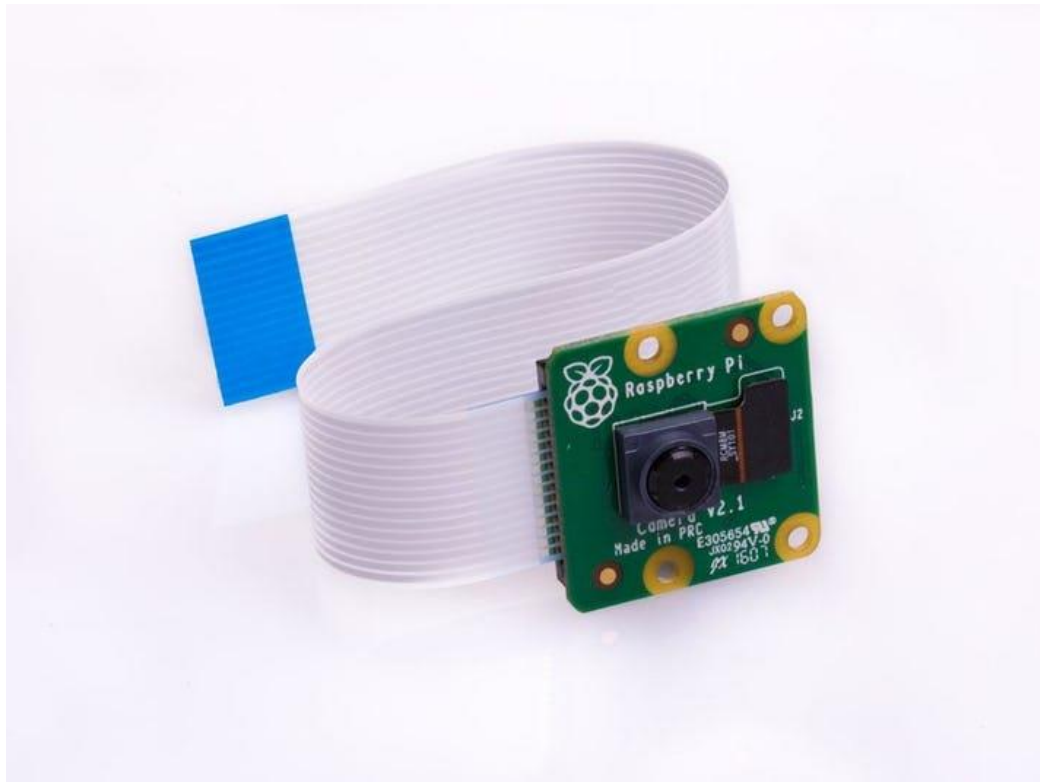


Рисунок 2.2 – Модуль Raspberry Pi Camera Module 2

Для живлення плати використовується блок живлення Raspberry Pi 12.5W Power Supply (рис. 2.3) із портом micro-USB, напругою 5В.



Рисунок 2.3 – Блок живлення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ

Арк.
26

2.4 Апаратні з'єднання компонентів системи

Для з'єднання усіх компонентів системи необхідно зробити підключення:

- 1) підключити блок живлення до micro-USB порту плати;
- 2) підключити шину модуля камери до Camera CSI порту;
- 3) підключити мережевий кабель до порту Ethernet Rj45 на платі.

На рисунку (рис. 2.4) показано схему з'єднання модулів проекту Raspberry Pi.

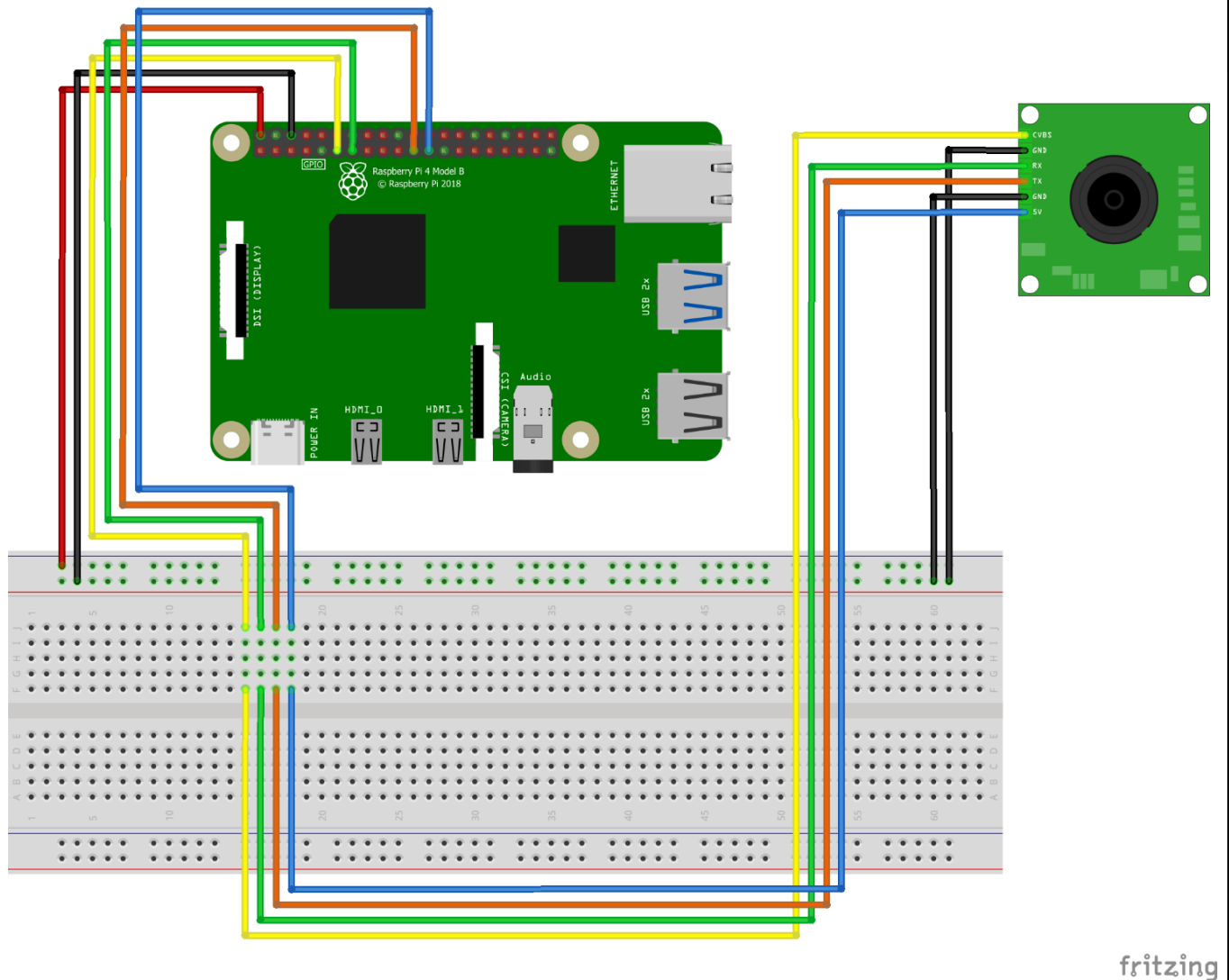


Рисунок 2.3 – Апаратні з'єднання плати

fritzing

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ

Арк
27

2.5 Встановлення операційної системи

Для початку необхідно встановити операційну систему на плату Raspberry Pi. Для цього було вибрано операційну систему Raspberry Pi OS, яка підтримується розробниками плати Raspberry Pi. Спочатку необхідно завантажити ISO-образ операційної системи із офіційного сайту. Для реалізації проекту було вибрано версію операційної системи Raspberry Pi OS (64-bit) із версією ядра Linux 5.15 та версією дистрибутиву Debian 11 [8].

Перед встановленням операційної системи необхідно записати образ операційної системи на флеш накопичувач. Для цього потрібно завантажити утиліту Raspberry Pi Imager із офіційного сайту [9]. Після її встановлення записуємо образ операційної системи на носій (рис. 2.3). Після запису образу на носій, він готовий для встановлення на плату Raspberry Pi. Далі підключаємо плату до живлення та підключаємо порт Ethernet, і вставляємо носій із записаним на нього образом операційної системи. Також підключаємо монітор через порт HDMI.



Рисунок 2.3 – Запис образу Raspberry Pi OS на носій

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В результаті запису на носій буде записано усі необхідні файли, потрібні для установки операційної системи Raspberry Pi OS (рис. 2.4)

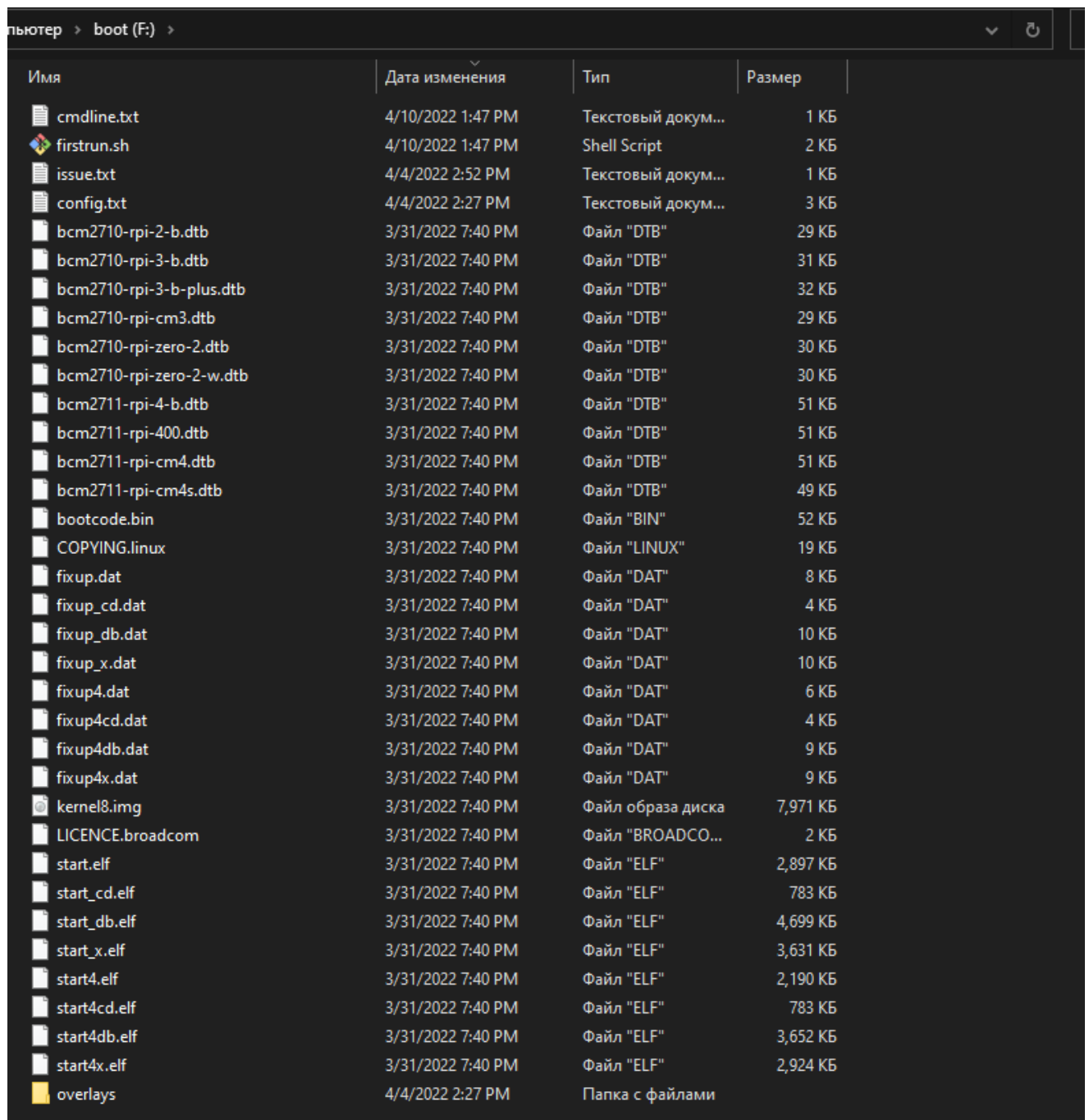


Рисунок 2.4 – Вміст носія для завантаження операційної системи Raspberry OS

Після ввімкнення живлення плати завантажувється екран із меню BIOS в якому вибираємо пункт «Install» (рис. 2.5), для початку встановлення.

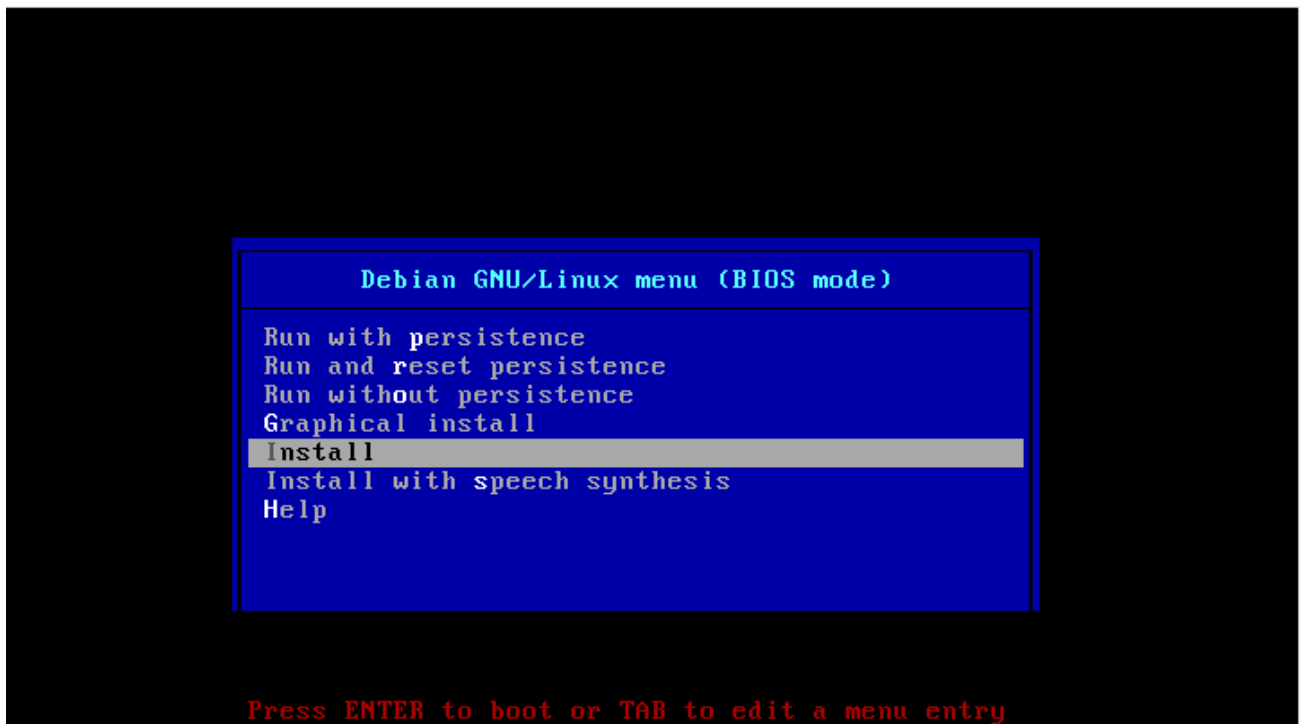


Рисунок 2.5 – Меню завантаження Raspberry Pi

Далі інсталятор пропонує вибрати конфігурації мови та гарячих клавіш, після чого вибираємо метод розподілення дискової пам'яті (рис. 2.6).

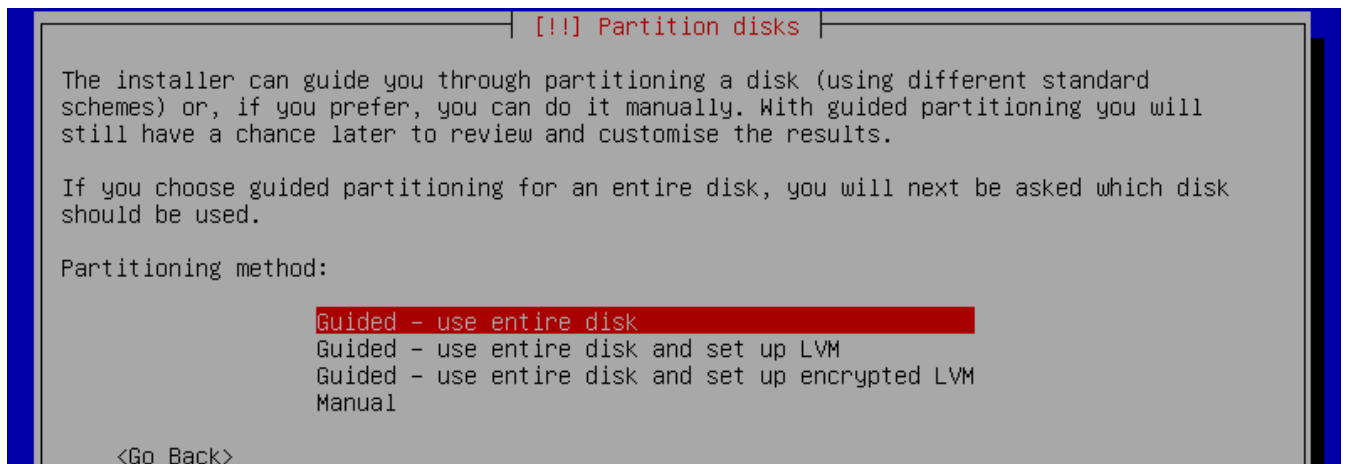


Рисунок 2.6 – Вибір методу розподілення дискової пам'яті

Наступним пунктом установки буде вибір диску для встановлення системи (рис 2.7) та вибір схемо розподілення логічних розділів (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 – Вибір диску

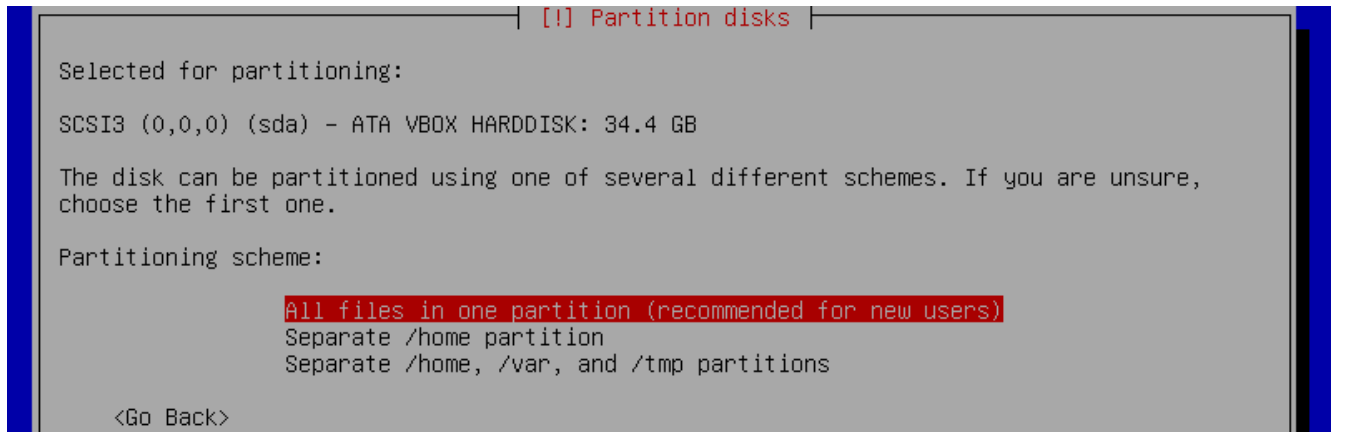


Рисунок 2.8 – Вибір методу розділення логічних дисків

Після завершення налаштувань інсталятора, очкуємо завершення установки операційної системи (рис. 2.9) на нашу плату.

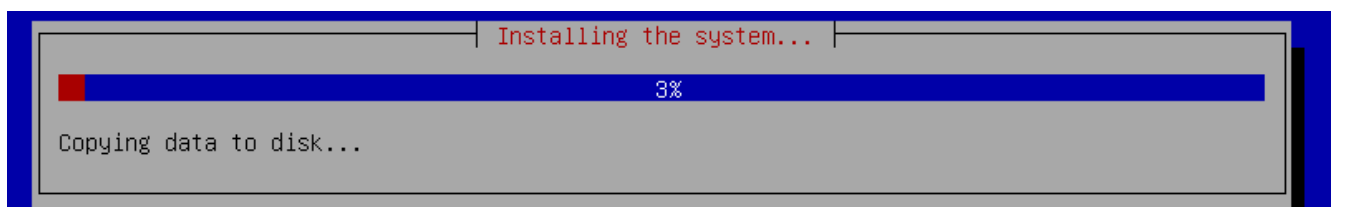


Рисунок 2.9 - Процес встановлення системи

По завершенню установки нас зустрічає стартовий екран операційної системи Raspberry Pi OS (рис 2.10) та пропонує завершити базові налаштування мови та часу.

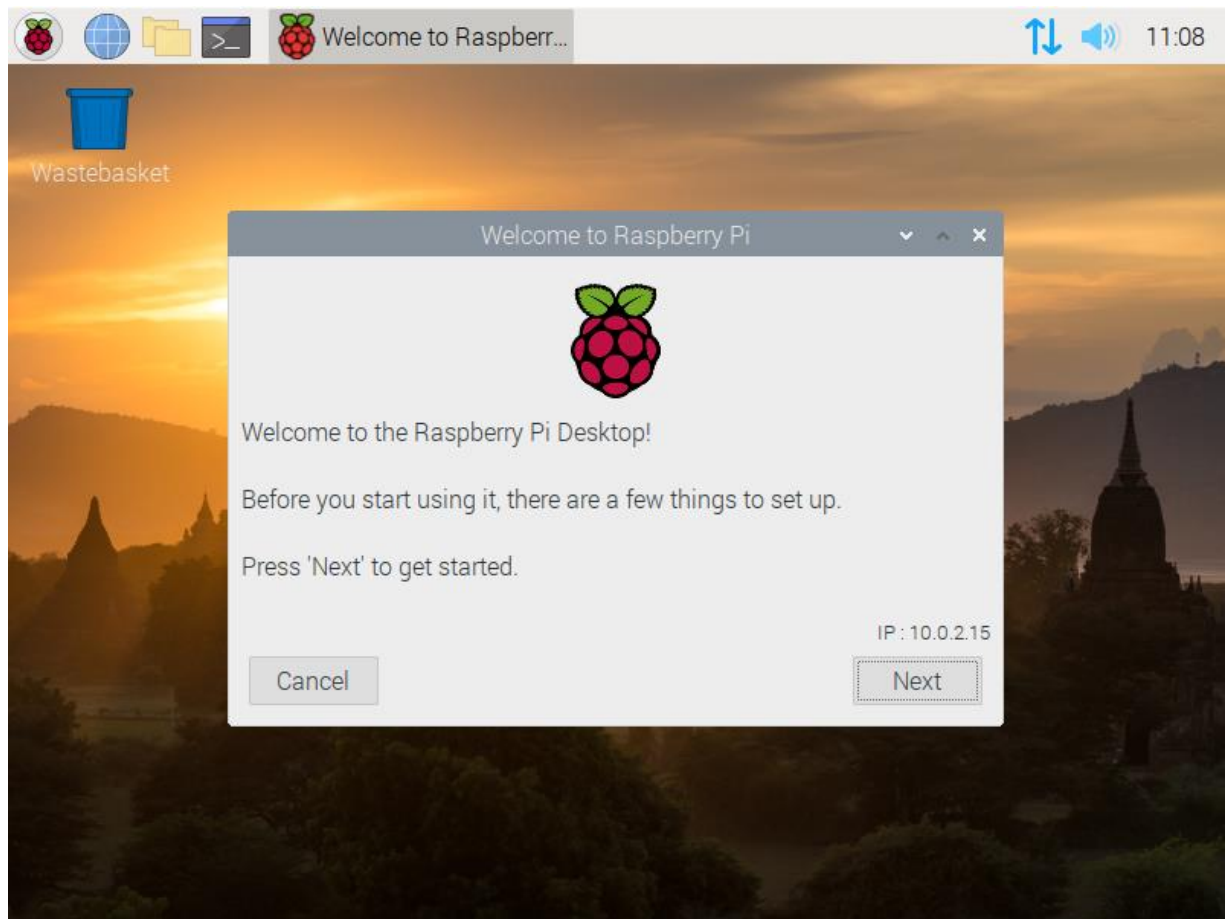


Рисунок 2.10 – Стартовий екран Raspberry Pi OS

2.6 Налаштування робочого середовища

Перед початком роботи над проектом потрібно налаштувати робоче середовище. Для цього відкриваємо термінал та запускаємо команду «`sudo apt-get update`» (рис. 2.11). Ця команда оновить списки пакетів репозиторіїв до останніх версій.

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get update
Hit:1 http://archive.raspberrypi.org/debian buster InRelease
Hit:2 http://ftp.debian.org/debian buster InRelease
Get:3 http://security.debian.org buster/updates InRelease [65.4 kB]
Get:4 http://ftp.debian.org/debian buster-updates InRelease [51.9 kB]
Fetched 117 kB in 1s (118 kB/s)
Reading package lists... Done
pi@raspberrypi:~ $
```

Рисунок 2.11 – Оновлення репозиторіїв

Після цього застосовуємо команду «ip a» (рис 2.13) та отримуємо IP-адресу видану платі DHCP сервером Wifi-маршрутизатора.

```
pi@raspberrypi:~$ ip a
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN group default qlen 1000
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
    inet 127.0.0.1/8 scope host lo
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 ::1/128 scope host
        valid_lft forever preferred_lft forever
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP group default qlen 1000
    link/ether 08:00:27:5c:9c:12 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 10.0.2.15/24 brd 10.0.2.255 scope global dynamic noprefixroute eth0
        valid_lft 83475sec preferred_lft 72675sec
    inet6 fe80::7800:2ae5:9ff5:56b0/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
pi@raspberrypi:~$
```

Рисунок 2.13 – Отримання інформації про IP-адресу

Наступним кроком необхідно перевірити наявність встановленого середовища програмування python та python3 для цього використовуємо команди:

```
python --version
```

та

```
python3 --version
```

Результат їх виконання зображено на рисунку (рис. 2.14)

```
pi@raspberrypi:~$ python --version
Python 2.7.16
pi@raspberrypi:~$ python3 --version
Python 3.7.3
pi@raspberrypi:~$
```

Рисунок 2.14 – Перевірка версій Python

Далі створимо папку проекту та проведемо ініціалізацію робочого середовища Python (рис. 2.15).

```
pi@raspberrypi:~$ mkdir app
pi@raspberrypi:~$ cd app
pi@raspberrypi:~/app$ mkdir fer
pi@raspberrypi:~/app$ python3 -m venv fer-cnn
pi@raspberrypi:~/app$ source fer-cnn/bin/activate
(fer-cnn) pi@raspberrypi:~/app$
```

Рисунок 2.15 – Ініціалізація віртуального середовища

Також потрібно завантажити бібліотеки та залежності Python (рис. 2.16).

```
pip install numpy
pip install opencv-python
pip install keras
pip3 install --upgrade tensorflow
pip install pillow
```

Рисунок 2.16 – Команди установки бібліотек

Характеристика доданих бібліотек:

- 1) `numpy` – додає підтримку багатовимірних масивів та матриць, та оптимізовані функції, для операцій над ними;
- 2) `opencv-python` – включає в себе велику кількість алгоритмів комп'ютерного бачення;
- 3) `keras` – API для взаємодії із комп'ютерними нейронними мережами;
- 4) `tensorflow` – вирішує завдання побудови та тренування штучних нейронних мереж;
- 5) `pillow` – призначена для роботи із растровою графікою.

Також необхідно завантажити базу даних для навчання нейронної мережі. Для навчання згорткової нейронної мережі було вибрано три бази зображень із зображеннями емоцій людей різних спектрів:

- 1) FER2013;
- 2) Extended Cohn-Kanade Dataset;
- 3) Natural Human Face Images.

Для дослідження впливу кількості зображень на успішність розпізнавання емоцій було вибрано бази зображень із різною кількістю зображень. Усі картинки відформатовані до розмірів 48×48 пікселів та приведені до чорно-білої кольорової гами (рис 2.17).



Рисунок 2.17 – База зображень

Зображення бази поділяються на 7 категорій:

- 1) 0 – злість;
- 2) 1 – відраза;
- 3) 2 – страх;
- 4) 3 – щастя;
- 5) 4 – сум;
- 6) 5 – здивування;
- 7) 6 – нейтральний вираз;

Всі групи зображень зберігаються в каталогах із відповідними назвами емоцій, для того, щоб можна було програмно перенести класифікації у мережу (рис 2.18).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

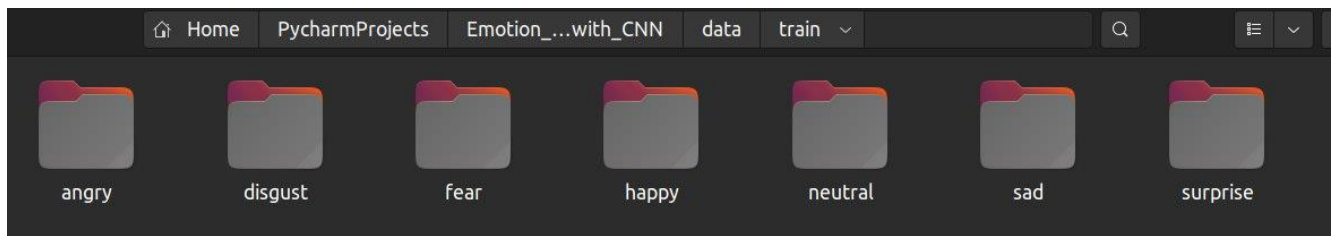


Рисунок 2.18 – Класифікація бази емоцій

2.7 Висновки

В даному розділі було визначено завдання, порядок реалізації програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Прийнято рішення щодо платформи реалізації, операційної системи та мови програмування для написання коду програми розпізнавання емоцій обличчя людини. Окрім того, було визначено список потрібного обладнання та модулів, із яких буде складатись програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Також було налаштовано та підготовано робоче середовище для реалізації програмної частини програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕЖНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ ОБЛИЧЧЯ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI

3.1 Реалізація апаратних з'єднань пристрою захоплення зображення

Реалізацію проекту почну із приведення плати Raspberry Pi до робочого стану. Для цього виконаю приєднання вибраних модулів до плати в відповідному порядку:

- 8) блок живлення;
- 9) флеш накопичувач із встановленою операційною системою Raspberry Pi OS;
- 10) кабель Ethernet;
- 11) камера.

Усі апаратні з'єднання зображені на рисунку 3.1

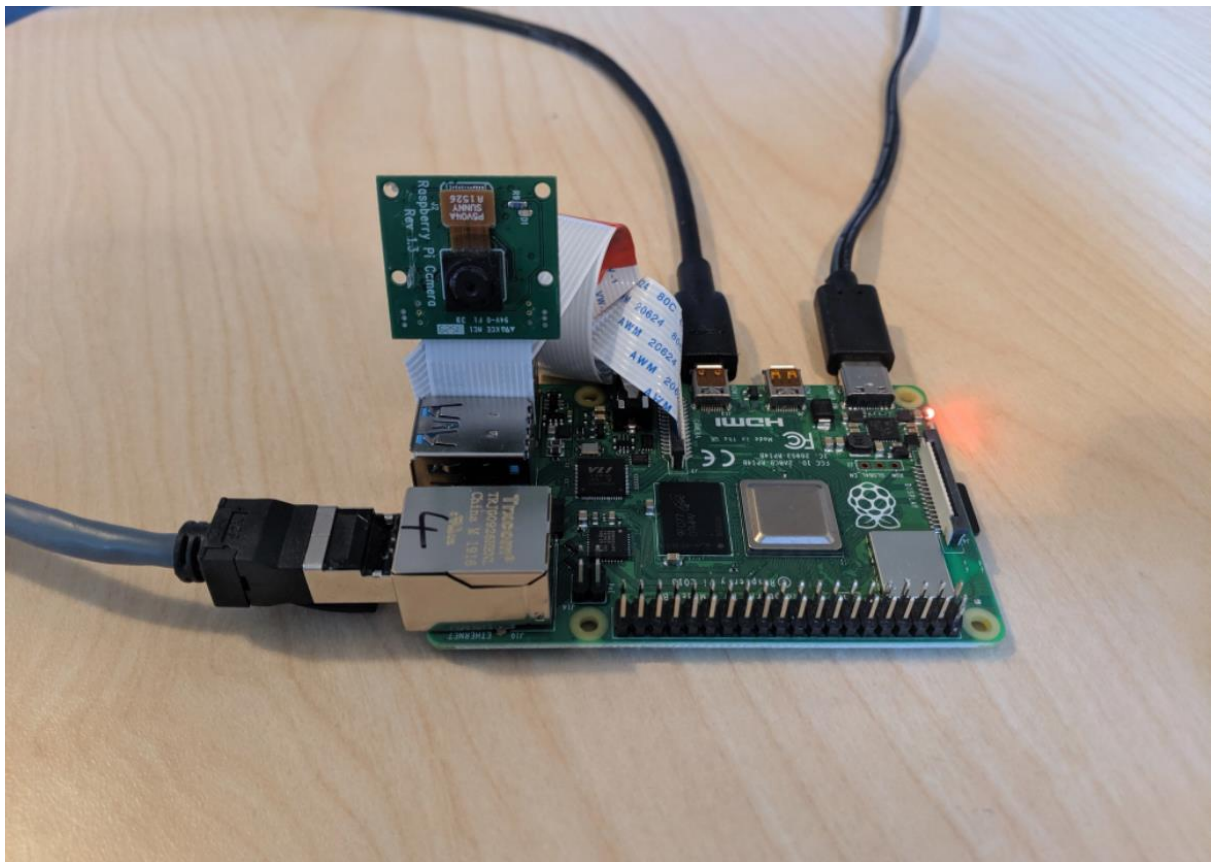


Рисунок 3.1 – Зображення апаратних з'єднань плати Raspberry Pi

Перед початком роботи потрібно налаштувати віддалене підключення до плати. Для цього на плату потрібно встановити SSH клієнт за допомогою введення в термінал команди:

```
sudo apt install ssh
```

Після цього можна здійснити віддалене підключення до плати, що під'єднана до мережі інтернет за допомогою команди:

```
ssh pi@192.168.0.113
```

Для визначення IP-адреси в локальній мережі було використано налаштування Wifi-маршрутизатора (рис.3.2)

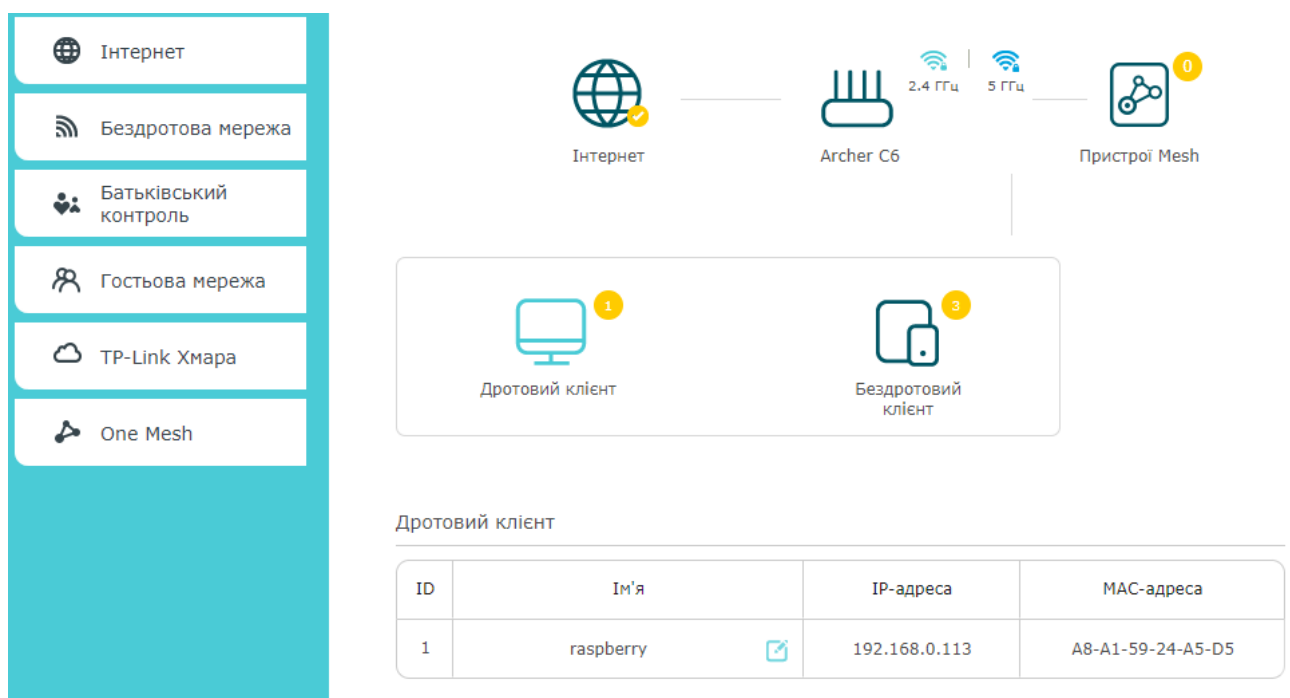


Рисунок 3.2 – IP-адреса видана комп'ютеру Raspberry

3.2 Програмна реалізація програмно-технічного пристрою для розпізнавання емоцій обличчя на основі Raspberry PI

Для розробки програмного коду було використано інтегроване середовище розробки (IDE) для мови програмування Python – PyCharm. На рисунку (3.3) зображена структура програмного проєкту.

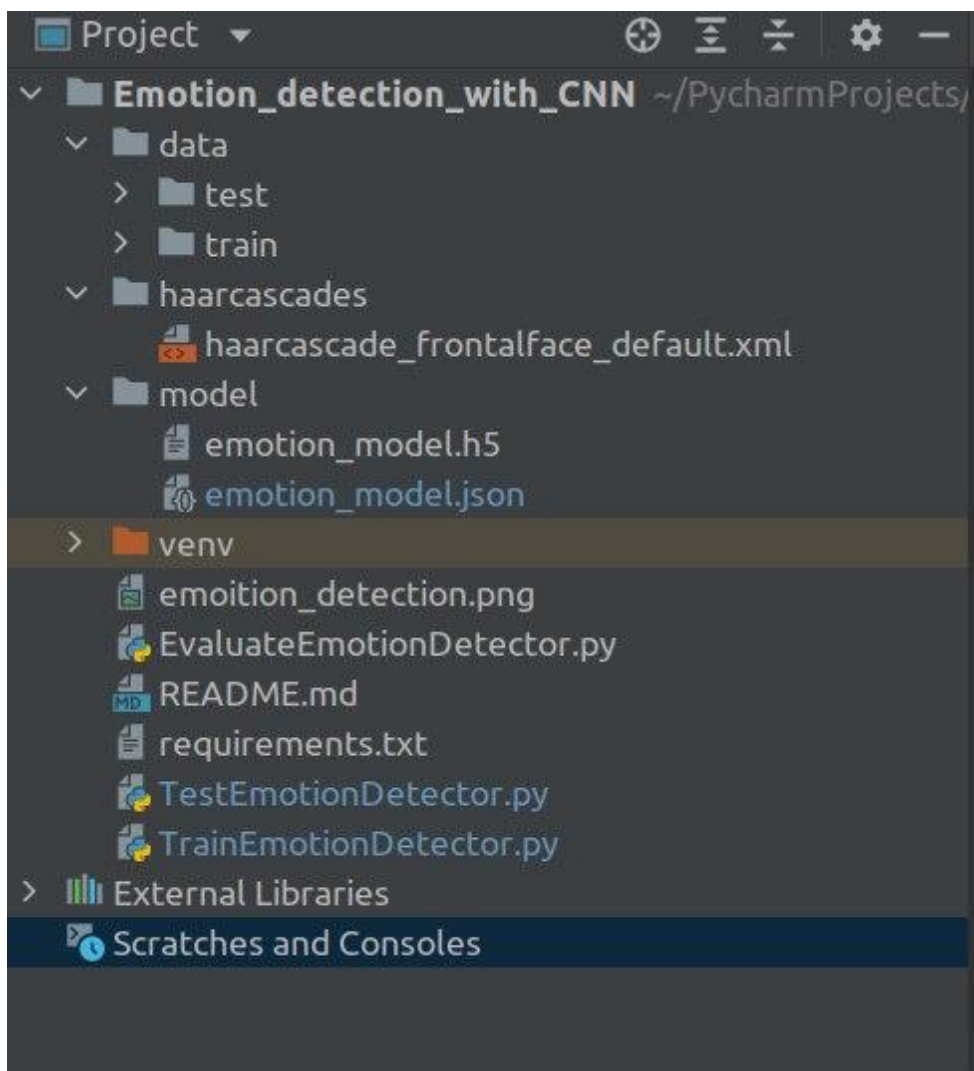


Рисунок 3.3 – Структура програмного проєкту розпізнавання емоцій обличчя

3.3 Розробка програмного модулю тестування класифікації емоцій обличчя

Для тестування класифікації емоцій потрібно створити словник, в якому буде міститись ключ емоції та її назва. Такий словник створюється за допомогою коду:

```
emotion_dict = {0: "Angry", 1: "Disgusted", 2: "Fearful", 3: "Happy", 4: "Neutral", 5: "Sad", 6: "Surprised"}
```

Наступним кроком буде ініціалізація обробника зображень:

```
test_data_gen = ImageDataGenerator(rescale=1./255)
```

Далі проводиться попередня обробка зображень, під час якої вони приводяться до потрібного для введення формату:

```
test_generator = test_data_gen.flow_from_directory(
    'data/test',
```

```
target_size=(48, 48),
batch_size=64,
color_mode="grayscale",
class_mode='categorical')
```

Після того як було отримано оброблені зображення можемо передавати їх для класифікації згортковою нейронною мережею:

```
predictions = emotion_model.predict_generator(test_generator)
```

На даному етапі одержано масив класифікацій емоцій нейронною мережею та попередньо оброблений масив зображень. Із цих даних можна побудувати матрицю збіжності класифікації емоцій нейронною мережею в порівнянні із дійсними значеннями емоцій на попередньо оброблених зображеннях за допомогою коду :

```
c_matrix = confusion_matrix(test_generator.classes, predictions.argmax(axis=1))
print(c_matrix)

cm_display=ConfusionMatrixDisplay(confusion_matrix=c_matrix,display_labels
=emotion_dict)

cm_display.plot(cmap=plt.cm.Blues)

plt.show()
```

В результаті отримуємо матричну діаграму, зображену на рисунках 3.4, 3.5, та 3.6.

Окрім матричних діаграм, в результаті виконання коду:

```
print(classification_report(test_generator.classes, predictions.argmax(axis=1)))
```

Буде виведена статистика тестування, що зображена на рисунку 3.4. Із статистики можна побачити кількість зображень, що були використані для тестування, кількість зображень, використаних для тестування певного класу емоції та коефіцієнт точності класифікації емоцій людей, що знаходяться на зображеннях.

	precision	recall	f1-score	support
0	0.13	0.11	0.12	958
1	0.01	0.01	0.01	111
2	0.13	0.12	0.12	1024
3	0.25	0.27	0.26	1774
4	0.17	0.18	0.17	1232
5	0.18	0.19	0.18	1247
6	0.12	0.12	0.12	831
accuracy			0.18	7177
macro avg	0.14	0.14	0.14	7177
weighted avg	0.17	0.18	0.17	7177

Рисунок 3.4 – Статистика тестування нейронної мережі

В таблиці 3.1 наведено основні функції роботи ПЗ розпізнавання емоцій.

Таблиця 3.1 – Опис основних функцій ПЗ розпізнавання емоцій обличчя

№ п.п	Назва функції	Опис функції
1	startDetector()	Функція запускає з'єднання із камерою та починає передавати зображення до функцій обробки зображень
2	getRoi(str[])	Функція виділяє зображення обличчя людини із вхідного зображення
3	formatImage(str[])	Функція приводить зображення до потрібного формату
4	predict(str[])	Функція класифікує емоцій людини, зображену на вхідному зображенні
5	imshow(str, str, str)	Функція виводить класифікацію емоцій обличчя на зображення
6	initializeCnn(str)	Функція створює багат шарову структуру фільтрів для нейронної мережі

Продовження таблиці 3.1 – Опис основних функцій розпізнавання емоцій обличчя

7	fit_generator()	Функція навчає нейронну мережу
8	evaluateModel(str)	Функція перевіряє роботу нейронної мережі
9	classificationReport()	Функція складає статистику класифікації емоцій під час перевірки роботи нейронної мережі
10	initializeServerConnection(str, str)	Функція створює з'єднання із сервером
11	streamEmotionClassification(str)	Функція відсилає потік відео, який отримує із камери пристрою для розпізнавання емоцій обличчя на сервер

3.4 Розробка користувацького інтерфейсу

Користувацький інтерфейс розроблено за допомогою мови програмування JavaScript та фреймворку Electron. Electron – фреймворк який призначений для написання десктопних застосунків із використанням технологій HTML, CSS та JavaScript.

Основою проекту Electron є проекти Chromium та Node.js, що дає можливість без проблем використовувати будь-які веб-технології під час створення програм для робочого столу. Для написання коду було використано середовище розробки Visual Studio Code. Для збереження даних користувачів використовується нереляційна база даних MongoDB.

На рисунку 3.5 зображено стартова сторінка користувацької програми розпізнавання емоцій обличчя.

Для створення застосунку за допомогою фреймворку Electron необхідно створити файл main.js та ініціалізувати стартове вікно програми. В таблиці 3.2 наведено основні функції ПЗ доступного користувачам.

Для того, щоб запустити застосунок в режимі розробника необхідно використати команду терміналу – «npm start». В результаті виконання цієї команди буде запущено застосунок та відкриється стартове вікно користувача (рис. 3.5).

Таблиця 3.2 – Опис основних функцій ПЗ користувача

№ п.п	Назва функції	Опис функції
1	createWindow()	Функція створює вікно програми, та створює в ньому вікно браузера, для відображення сторінок програми
2	authorizeUser(str, str)	Функція здійснює перевірку введених даних та авторизує користувача в системі, якщо такий існує.
3	registerUser(str, str)	Функція створює профіль користувача та зберігає його до бази даних
4	QListWidgetItem()	Функція створює елемент-віджет на формі – список вибору параметрів ланцюжка
5	addDeviceForUser(str, str, str)	Функція додає до списку пристроїв користувача новий пристрій розпізнавання емоцій обличчя
6	removeDeviceForUser(str)	Функція видаляє пристрій розпізнавання обличчя для користувача
7	listenDevice(str)	Функція налаштовує з'єднання із пристроєм розпізнавання обличчя
8	disconnectDevice()	Функція зупиняє трансляцію даних із пристрою розпізнавання обличчя на пристрій користувача
9	getHistory(str, str[])	Функція отримує данні розпізнавання обличчя за переданими параметрами пошуку

Після авторизації користувачу стає доступним список його пристроїв Raspberry Pi та можливість додавання нових пристроїв, що зображено на рисунку 3.6.

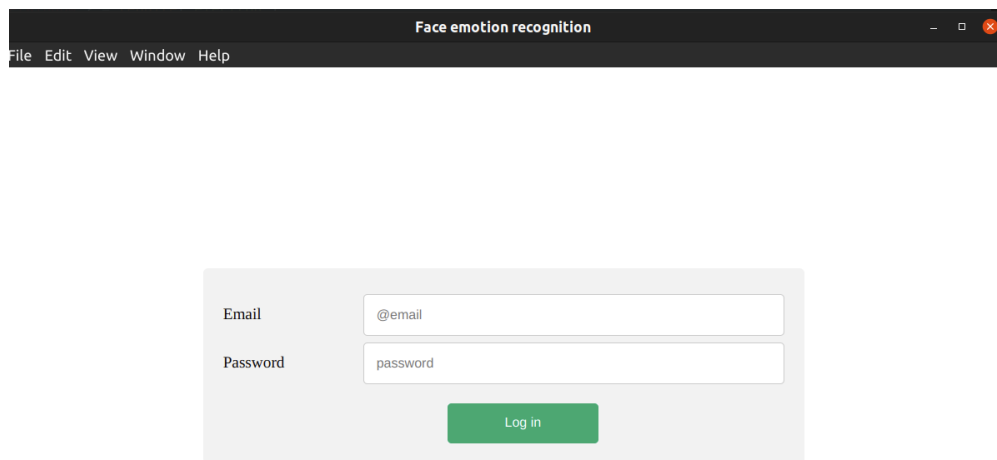


Рисунок 3.5 – Сторінка авторизації користувача

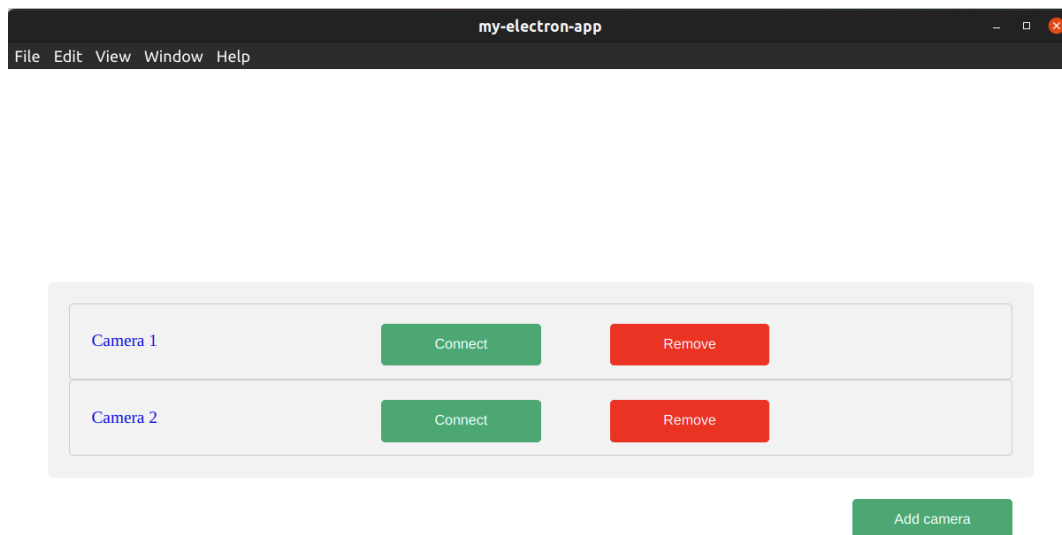


Рисунок 3.6 – Сторінка підключених пристроїв

Для додавання пристрою необхідно вказати його адресу та користувацьке ім'я (рис. 3.7). Адресу пристрою необхідно вказувати в форматі: `https://{host}:{port}`. Після цього сервер здійснить HTTP-запит за вказаним адресом та відправить конфігурації для налаштування WebSocket-з'єднання на пристрій Raspberry Pi.

Після налаштування :WebSocket-з'єднання мікрокомп'ютер Raspberry Pi зможе надсилати захоплене зображення на сервер, для класифікації емоцій обличчя людини, що знаходиться на фото.

Користувач, який додав пристрій Raspberry Pi зможе зробити запит на транслявання зображення на свій пристрій, після чого сервер створить для нього WebSocket-з'єднання для передачі зображення та інформації про класифікацію емоцій.

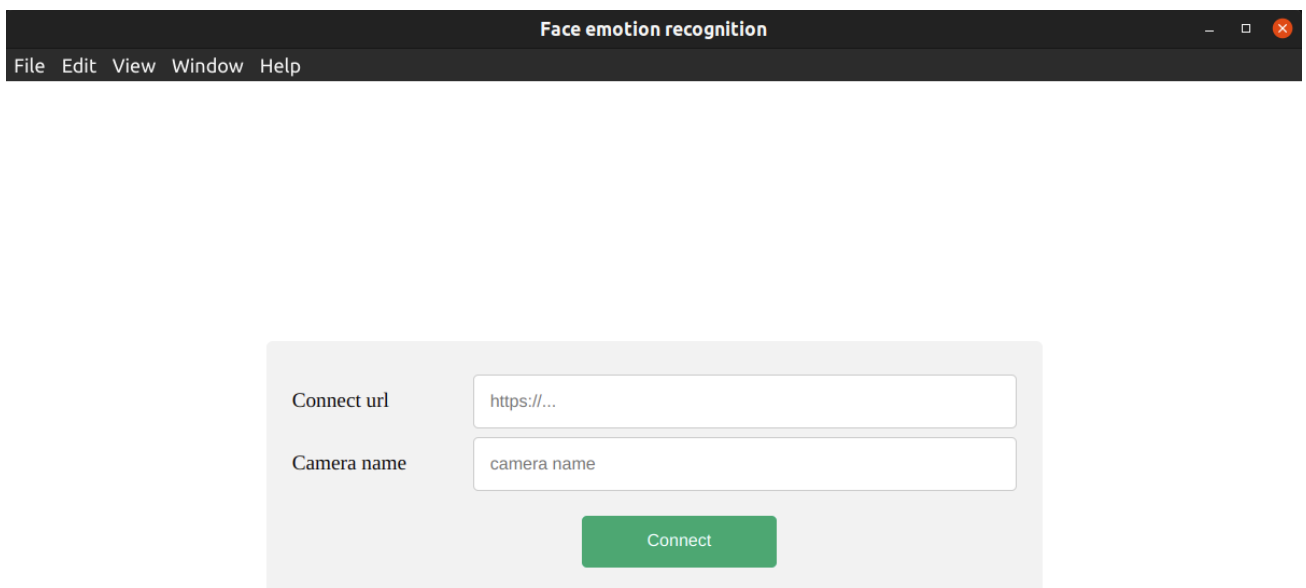


Рисунок 3.7 – Сторінка для додавання нового пристрою

На рисунку 3.8 зображено приклад класифікації емоцій обличчя в реальному часі разом із графіком зміни емоцій.

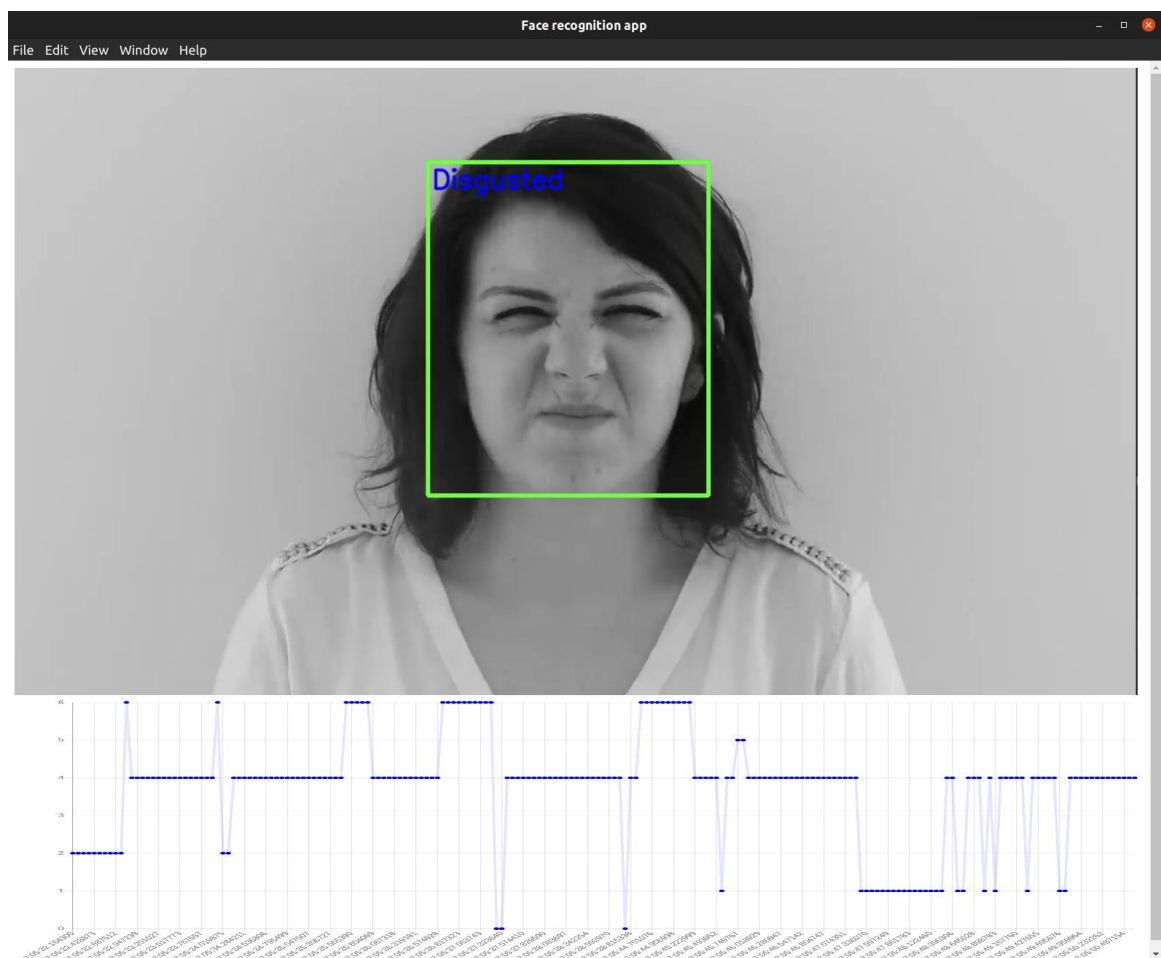


Рисунок 3.8 – Приклад розпізнавання емоцій

3.5 Налаштування серверної частини

Оскільки мікрокомп'ютер Raspberry Pi обмежений в об'ємі пам'яті та потужності процесора, було вирішено винести обробку зображень та їх класифікацію нейронною мережею на сервер. Таке рішення спростить оновлення та покращення мережі, оскільки код нейронної мережі буде знаходитись в одному місці на сервері. Система на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi буде виконувати завдання захоплення зображення та його передачі на сервер за допомогою WebSocket з'єднання. Користувачі, які приєднуються до серверу можуть також встановити WebSocket з'єднання для отримання класифікації емоцій обличчя, що захоплюється пристроєм Raspberry Pi.

На рисунку 3.9 зображено архітектура системи розпізнавання емоцій обличчя на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi.



Рисунок 3.9 – Узагальнена архітектура програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на основі Raspberry PI

Для розгортання сервера зі згортковою нейронною мережею для розпізнавання емоцій обличчя було використано сервіс хмарних технологій Google Cloud Platform(GCP). Щоб розгорнути сервер на платформі GCP необхідно скористатися сервісом Compute Engine, який надає можливість створювати віртуальні машини.

Для створення віртуальної машини необхідно зайти в меню VM instances та вибрати Create instance. На рисунку 3.10 зображено меню створення віртуальної машини.

Для створення віртуальної машини необхідно створити ім'я для віртуальної машини, регіон в якому вона буде знаходитись та потужності процесора із оперативною пам'яттю, які будуть виділені для неї.

Для віртуальної машини було вибрано 2-х ядерний процесор та 8 гігабайт оперативної пам'яті. Також необхідно вибрати операційну систему для завантаження та об'єм диску, на якому вона буде знаходитися (рис. 3.11). Для сервера було вибрано операційну систему Ubuntu 18.04 та накопичувач на магнітних дисках об'ємом 300 гігабайт.

Name *
fer-app

Labels ?

+ ADD LABELS

Region *
us-central1 (Iowa)

Region is permanent

Zone *
us-central1-a

Zone is permanent

Machine configuration

Machine family

GENERAL-PURPOSE

COMPUTE-OPTIMISED

MEMORY-OPTIMISED

GPU

Machine types for common workloads, optimised for cost and flexibility

Series
E2

CPU platform selection based on availability

Machine type
e2-standard-2 (2 vCPU, 8 GB memory)



vCPU

2

Memory

8 GB

✓ CPU PLATFORM AND GPU

Display device

Enable to use screen capturing and recording tools.

Enable display device

Confidential VM service ?

Enable the Confidential Computing service on this VM instance.

Container ?

Deploy a container image to this VM instance

DEPLOY CONTAINER

Рисунок 3.10 – Меню створення віртуальної машини

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ

Арк.
49

Boot disk

Select an image or snapshot to create a boot disk, or attach an existing disk. Can't find what you're looking for? Explore hundreds of VM solutions in [Marketplace](#)

PUBLIC IMAGES

CUSTOM IMAGES

SNAPSHOTS

EXISTING DISKS

Operating system

Ubuntu

Version *

Ubuntu 18.04 LTS

amd64 bionic image built on 2022-05-05, supports Shielded VM features

Boot disk type *

Balanced persistent disk

Size (GB) *

300

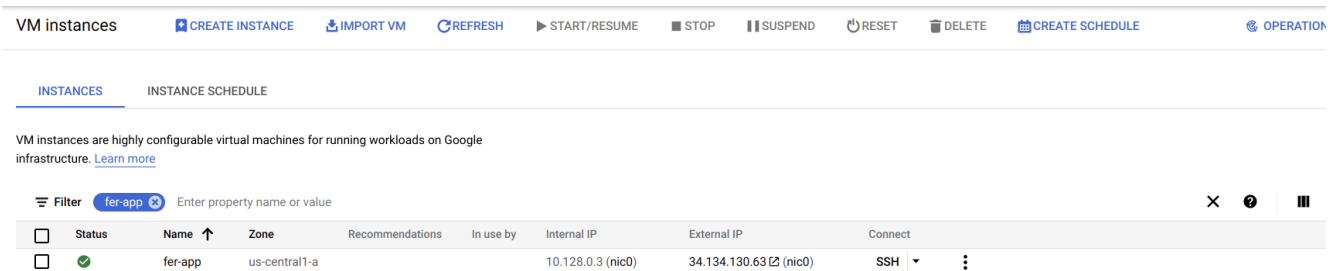
SHOW ADVANCED CONFIGURATION

SELECT

CANCEL

Рисунок 3.11 – Вибір операційної системи

Після створення віртуальної машини, вона з'явиться в списку віртуальних машин (рис. 3.12), їй буде виділено зовнішню та внутрішню ір-адреси.



VM instances

CREATE INSTANCE IMPORT VM REFRESH START/RESUME STOP SUSPEND RESET DELETE CREATE SCHEDULE OPERATION

INSTANCES INSTANCE SCHEDULE

VM instances are highly configurable virtual machines for running workloads on Google infrastructure. [Learn more](#)

Filter fer-app Enter property name or value

Status	Name	Zone	Recommendations	In use by	Internal IP	External IP	Connect
<input type="checkbox"/>	fer-app	us-central1-a			10.128.0.3 (nic0)	34.134.130.63 (nic0)	SSH

Рисунок 3.12 – Список віртуальних машин

Далі, за допомогою VPC network сервісу (рис. 3.13) потрібно зробити зовнішню ір-адресу статичною. Статична ір-адреса залишиться виділеною навіть

при вимкненні або видаленні віртуальної машини ,що дозволить без проблем замінювати віртуальні машини та робити оновлення без втрати комунікацій із клієнтськими пристроями.

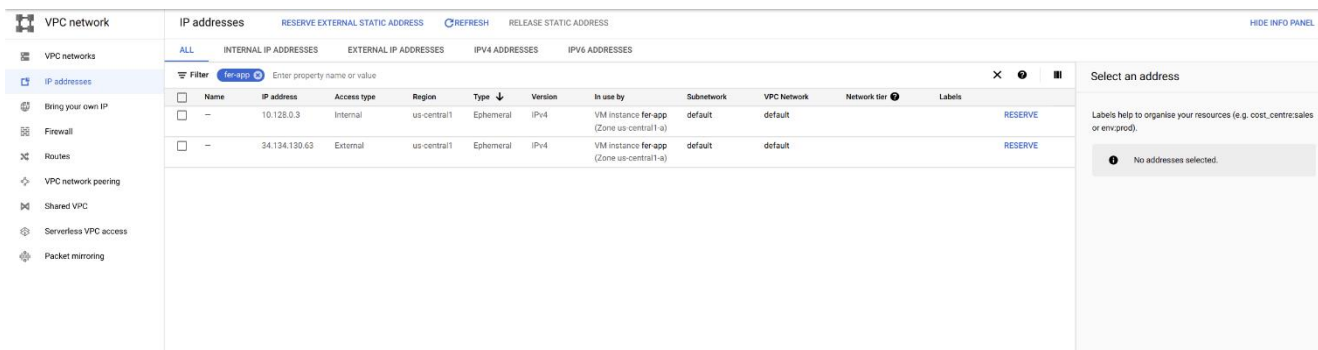


Рисунок 3.13 – Меню створення статичної ір-адреси

На рисунку 3.14 показано виділення статичної ір-адреси.

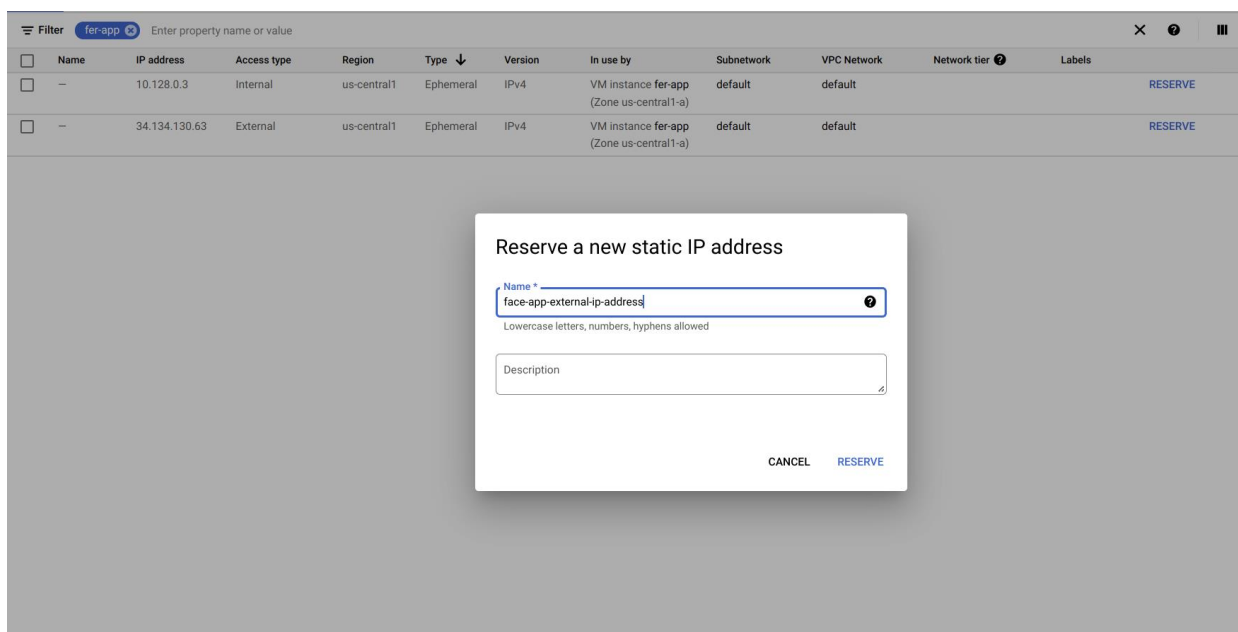


Рисунок 3.14 – виділення ір-адреси

Для того, щоб сервер був доступний ззовні необхідно надати віртуальній машині дозволу на використання http та https трафіку. Це можна зробити за допомогою налаштувань віртуальної машини (рис. 3.15).

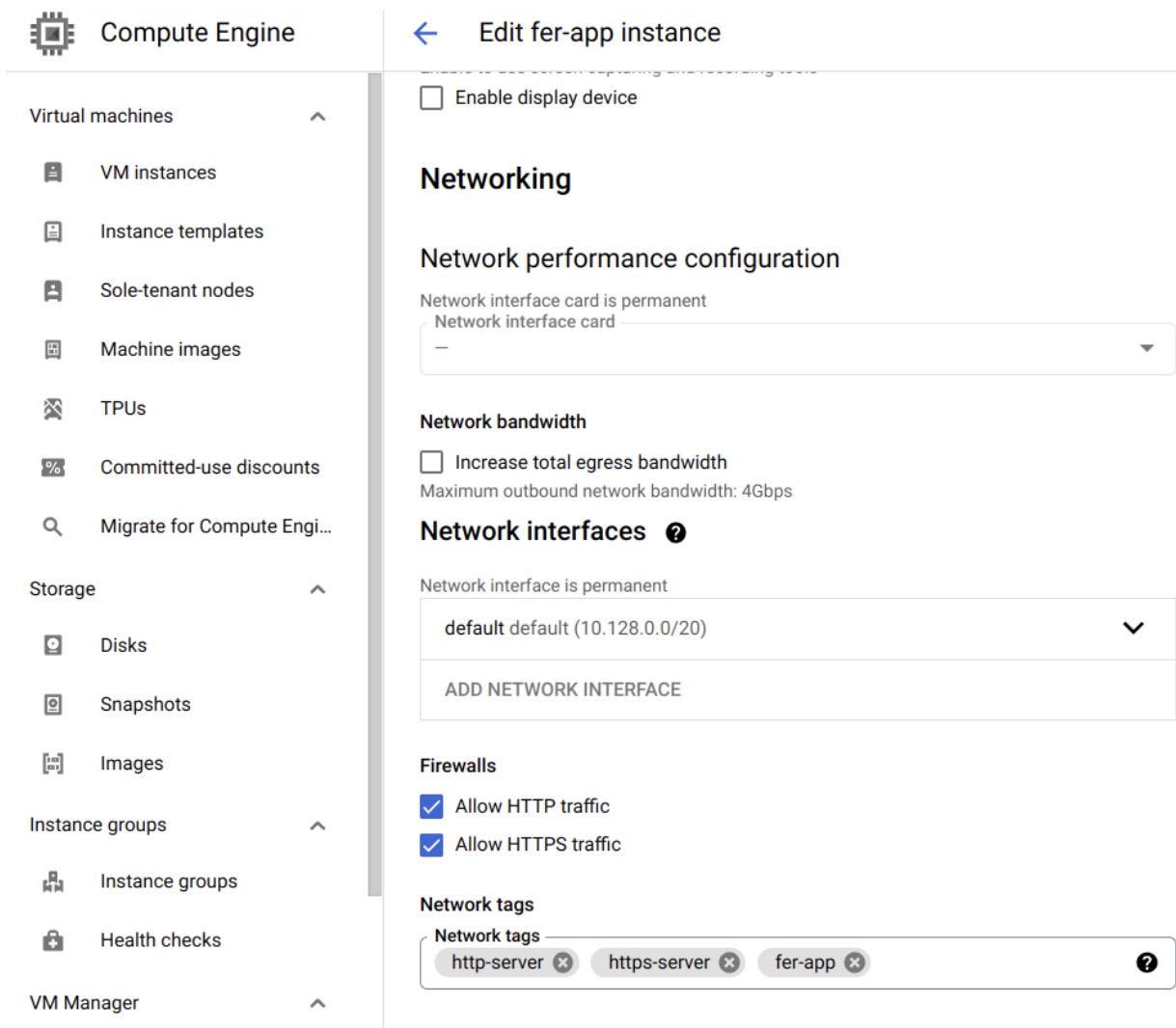


Рисунок 3.15 – Налаштування http трафіку віртуальної машини

В налаштуваннях VPC network можна подивитись конфігурації брандмауера (рис. 3.16) та побачити які порти дозволені для доступу до віртуальної машини ззовні та для яких ip адрес.

Filter Name : default OR fer-app Enter property name or value									
<input type="checkbox"/>	Name	Type	Targets	Filters	Protocols/ports	Action	Priority	Network ↑	Logs
<input type="checkbox"/>	default-allow-http	Ingress	http-server	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:80	Allow	1000	default	On
<input type="checkbox"/>	default-allow-https	Ingress	https-server	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:443	Allow	1000	default	On
<input type="checkbox"/>	default-allow-ssh	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:22	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	fer-app-http	Ingress	fer-app	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:8081	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	default-allow-icmp	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	icmp	Allow	65534	default	Off
<input type="checkbox"/>	default-allow-internal	Ingress	Apply to all	IP ranges: 10.128.0.0/9	tcp:0-65535 udp:0-65535 icmp	Allow	65534	default	Off
<input type="checkbox"/>	default-allow-rdp	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:3389	Allow	65534	default	Off

Рисунок 3.16 – Налаштування брандмауера

Далі необхідно налаштувати веб-сервер, який буде приймати http запити та перенаправляти їх на серверний застосунок для розпізнавання емоцій обличчя на основі згорткової нейронної мережі.

Для налаштування веб-серверу було обрано Nginx, який є простим, надійним та швидким веб-сервером. Робота веб-серверу nginx полягає в направленні http запитів користувачів на обране доменне ім'я до серверних застосунків, які обробляють запити (рис 3.17).

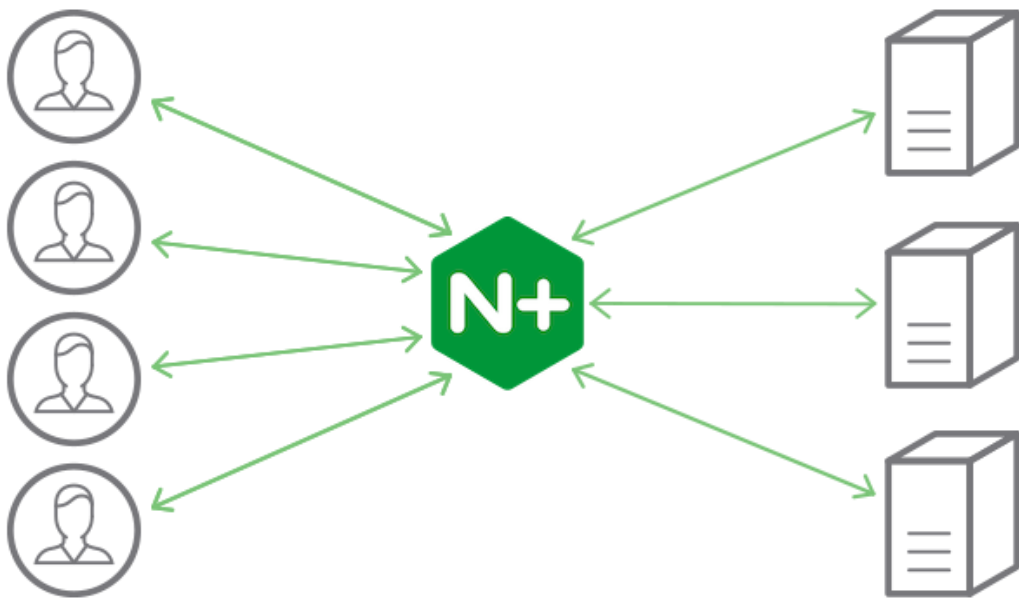


Рисунок 3.17 – Місце веб-серверу nginx в обробці запитів[18]

Nginx доступний із репозиторіїв операційної системи Ubuntu, тому для його встановлення можна скористатися системою пакетів apt та встановити веб-сервер за допомогою команд:

```
sudo apt update
```

```
sudo apt install nginx
```

Для перевірки встановлення nginx вводимо команду:

```
systemctl status nginx
```

Якщо веб-сервер був встановлений успішно отримаємо відповідь, аналогічну показаній на рисунку 3.18.

Для того, щоб сервер почав приймати запити, потрібно додати конфігурацію для нього, та налаштувати переправлення http запитів на серверний застосунок для розпізнавання емоцій обличчя на основі згорткової нейронної мережі.

```
● nginx.service - A high performance web server and a reverse proxy server
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/nginx.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Fri 2020-04-20 16:08:19 UTC; 3 days ago
     Docs: man:nginx(8)
  Main PID: 2369 (nginx)
    Tasks: 2 (limit: 1153)
   Memory: 3.5M
    CGroup: /system.slice/nginx.service
           └─2369 nginx: master process /usr/sbin/nginx -g daemon on; master_process on;
           └─2380 nginx: worker process
```

Рисунок 3.18 – Статус роботи nginx веб-сервер

Для налаштування веб-серверу потрібно створити кінцеві директорії за шляхом `/etc/nginx/sites-available/face-app` та `/etc/nginx/sites-enabled/face-app`. В створених директоріях необхідно додати файл із назвою `nginx.conf`. Всередині файлу `nginx.conf` потрібно додати обробник http запитів.

Обробник запитів потрібно налаштувати на транслявання запитів, які приходять на доменне ім'я, яке необхідно прив'язати до ір-адреси віртуальної машини, на якій знаходиться серверний застосунок, що вже розгорнутий та налаштований на обробку запитів, що надходять до порту 8081. Конфігурація `nginx.conf` файлу показана на рисунку 3.19

```
server {
    listen 80;
    listen [::]:80;

    server_name face-app.ua www.face-app.ua

    location / {
        proxy_pass      http://127.0.0.1:8081/
    }
}
```

Рисунок 3.19 – Налаштування файлу `nginx.conf`

3.6 Тестування нейронної мережі, навченої на різних базах даних із зображеннями

3.6.1 База зображень FER2013

База зображень FER2013 містить у собі близько 7 тисяч зображень емоцій людей та поділена на каталоги по класифікації емоцій, що продемонстровано на рисунку 3.3. Також можна побачити відношення кількості зображень для тестування для кожної із категорій:

- 1) angry – 958 зображень;
- 2) disgust – 111 зображень;
- 3) fear – 1024 зображень;
- 4) happy – 1774 зображень;
- 5) neutral – 1233 зображень;
- 6) sad – 1247 зображень;
- 7) surprise – 831 зображення.

Окрім цього, на рисунку 3.20 зображено загальна кількість зображень, що знаходиться в базі, а саме - 39900 зображень.

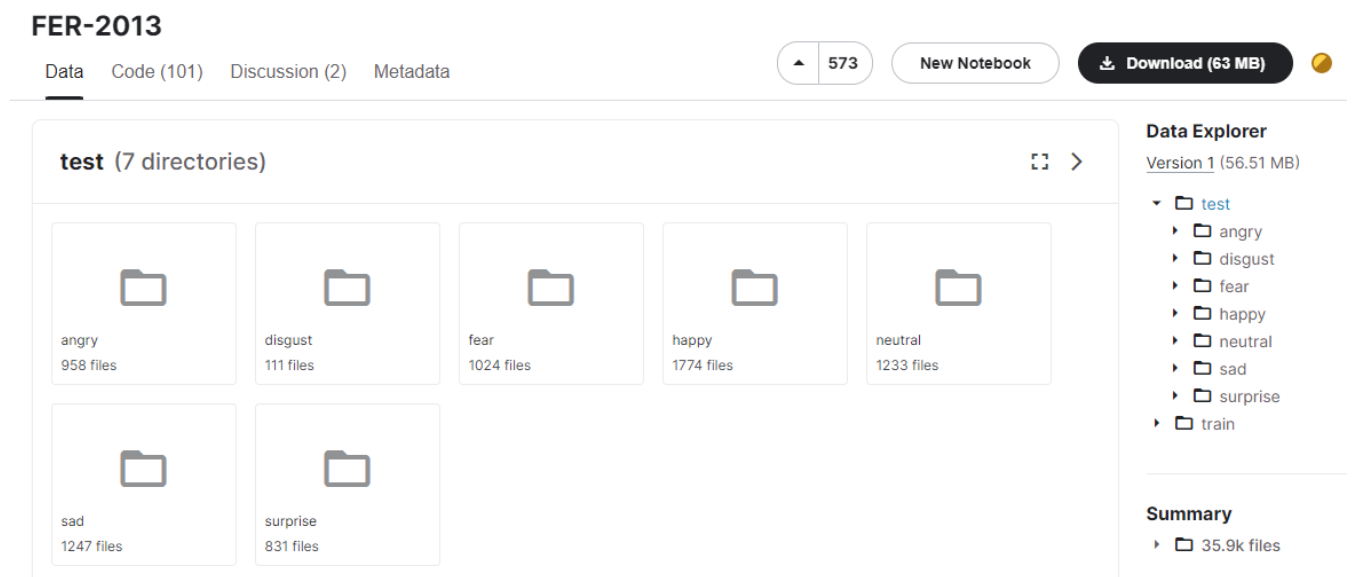


Рисунок 3.20 – База зображень FER2013

На рисунку 3.21 зображено графік точності класифікації емоцій мережею яка використовувала для тренування базу зображень FER2013. Проаналізувавши матрицю на рисунку 3.20, можна зробити висновок, щодо емоції під номером 3 – «щастя», та побачити, що ця емоція має найбільше хибних співпадінь із іншими емоціями.

Окрім цього, можна спостерігати протилежну ситуацію із емоцією за номером 1 – «відраза», яка має найменше співпадінь із іншими емоціями, та є найскладнішою для класифікації за базою зображень FER2013.

По матриці збіжності можна побачити, що найточніше алгоритм визначає емоцію щастя, які відповідно до бази зображень на якій тренувалась нейронна мережа має найбільшу кількість екземплярів зображень – 1774 файлів. Також, відповідно до цього найменший відсоток збіжності спостерігається для емоції відрази(disgust), які має найменше екземплярів зображень – всього 111.

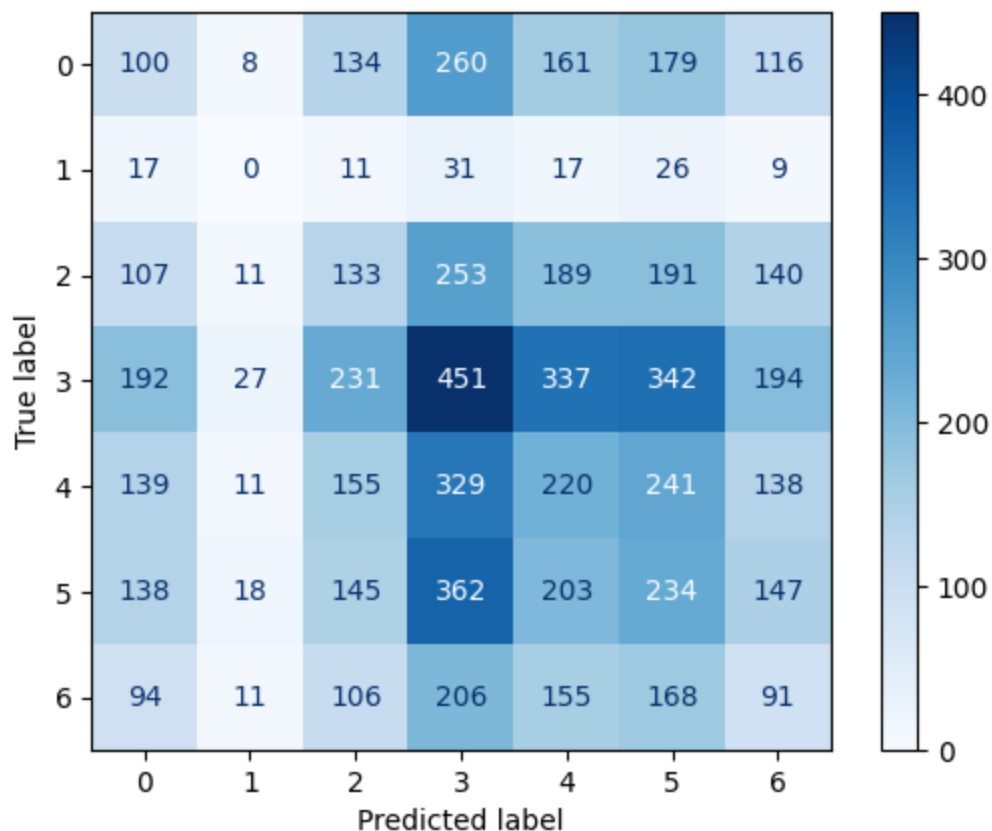


Рисунок 3.21 – Матриця класифікацій емоцій на базі FER2013

3.6.2 База зображень Extended Cohn-Kanade Dataset

Публічний набір зображень Extended Cohn-Kanade Dataset містить близько десяти тисяч зображень емоцій людей 123 особистостей, які зображують увесь спектр емоцій. На рисунку 3.22 зображено графік відповідності класифікації емоцій із тестового набору зображень із емоціями які дійсно знаходяться на зображеннях.

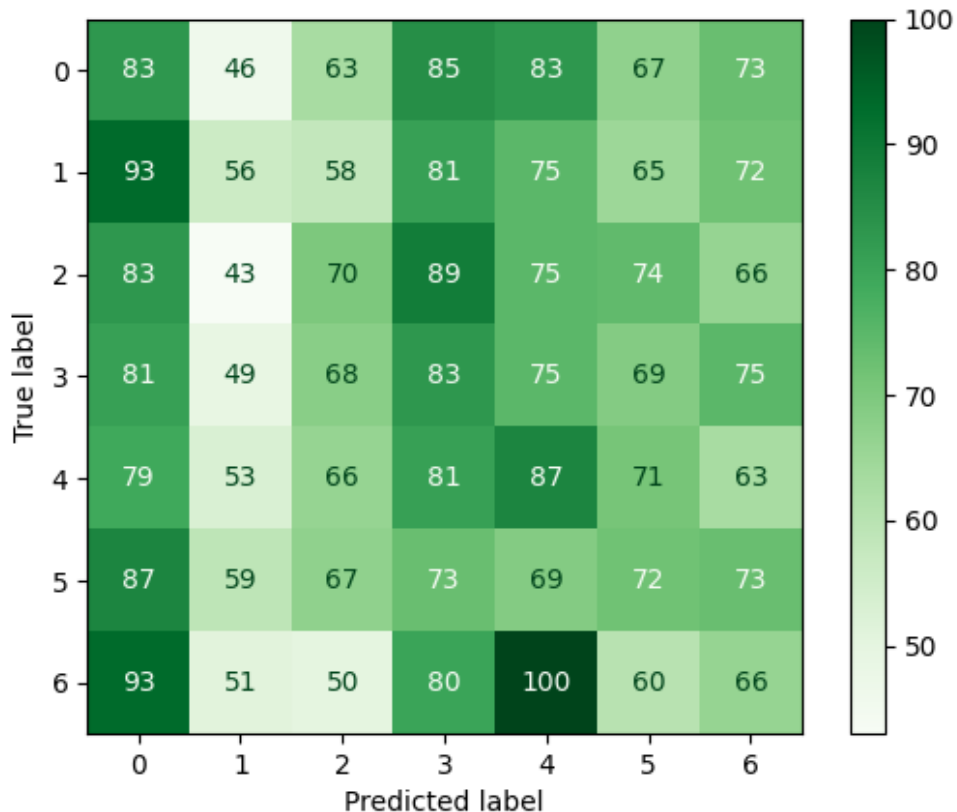


Рисунок 3.22 – Матриця класифікацій емоцій на базі Extended Cohn-Kanade Dataset

3.6.3 База зображень Natural Human Face Images

Набір зображень Natural Human Face Images містить у собі близько шести тисяч зображень. На рисунку 3.23 зображено результат тестування набору зображень Natural Human Face Images. На даній матриці можна спостерігати, що алгоритм, що навчений на базі зображень Natural Human Face Images має складності

із класифікацією емоцій за номером 1 – «відраза» та 4 – «нейтральний», а також можемо спостерігати хибне визначення емоції 5 – «сум» як емоцію 3- «щастя».

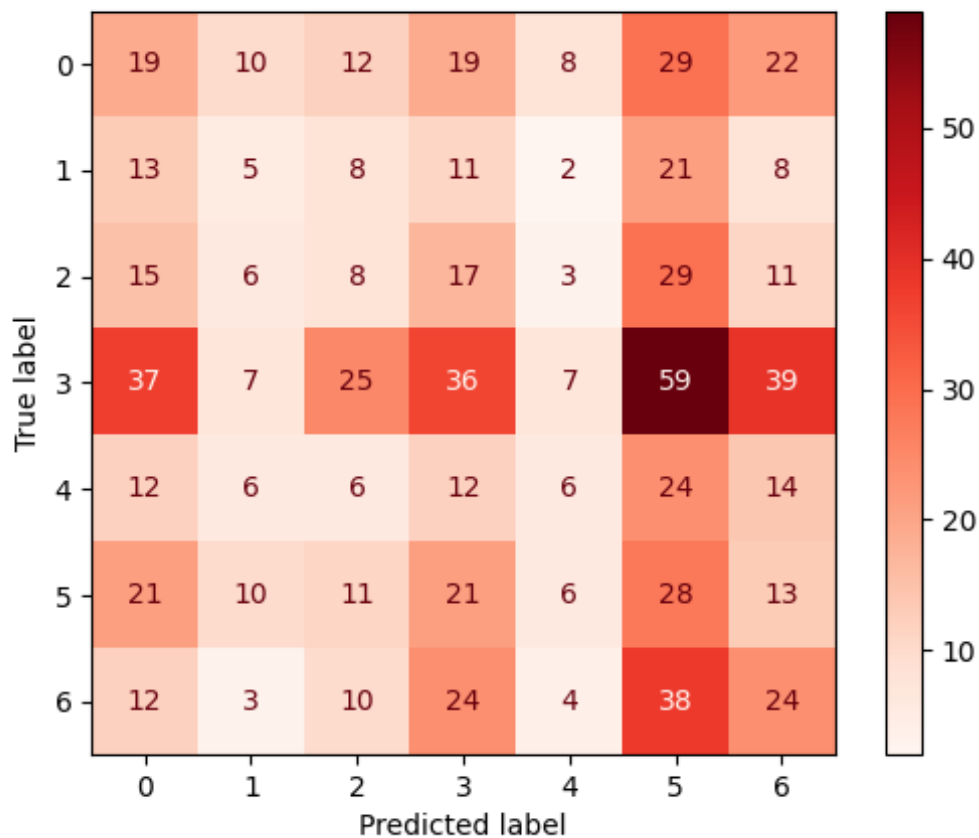


Рисунок 3.23 – Матриця класифікацій емоцій на базі Natural Human Face Images

В результаті тестування програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi можемо скласти діаграму, що показана на рисунку 3.23, на якому зображено порівняння успішності зображено порівняння успішності класифікації емоцій для нейронних мереж, навчених на основі різних баз зображень. Із діаграми порівняння баз зображень для розпізнавання емоцій обличчя людини, що зображена на рисунку 3.24, можна зробити висновок, що, незважаючи на різну кількість зображень, які були використані для навчання мережі, результати класифікації емоцій мають близькі за значенням результати успішності:

- 1) FER2013 – 37%;
- 2) Extended Cohn-Kanade Dataset – 31%;

3) Natural Human Face Images – 33% .

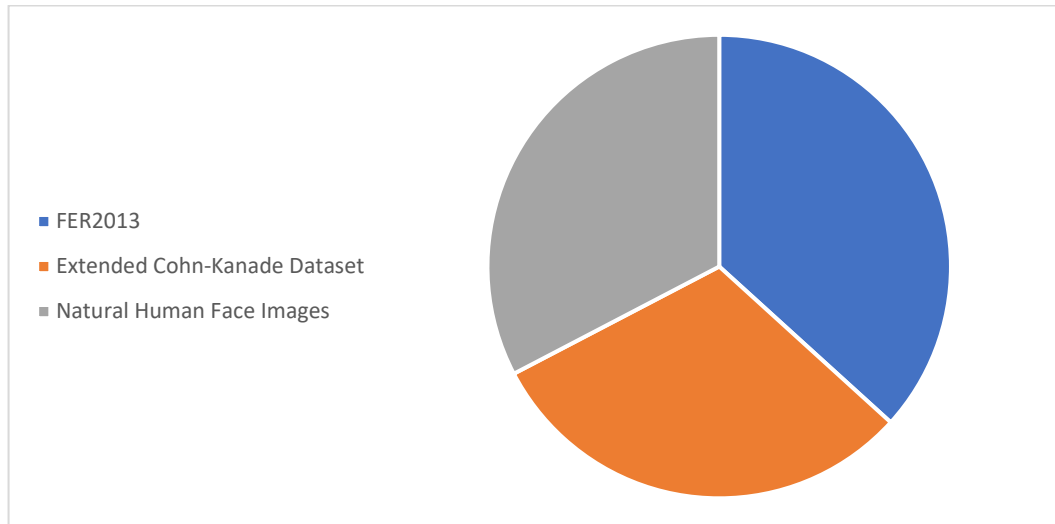


Рисунок 3.24 – Порівняння кількості успішних класифікацій емоцій між базами для навчання

На основі статистики тестування нейронної мережі можна побудувати діаграму (рис. 3.25) на якій зображено порівняння успішності класифікацій емоцій на зображеннях у відсотках між мережами, навченими на різних базах зображень.

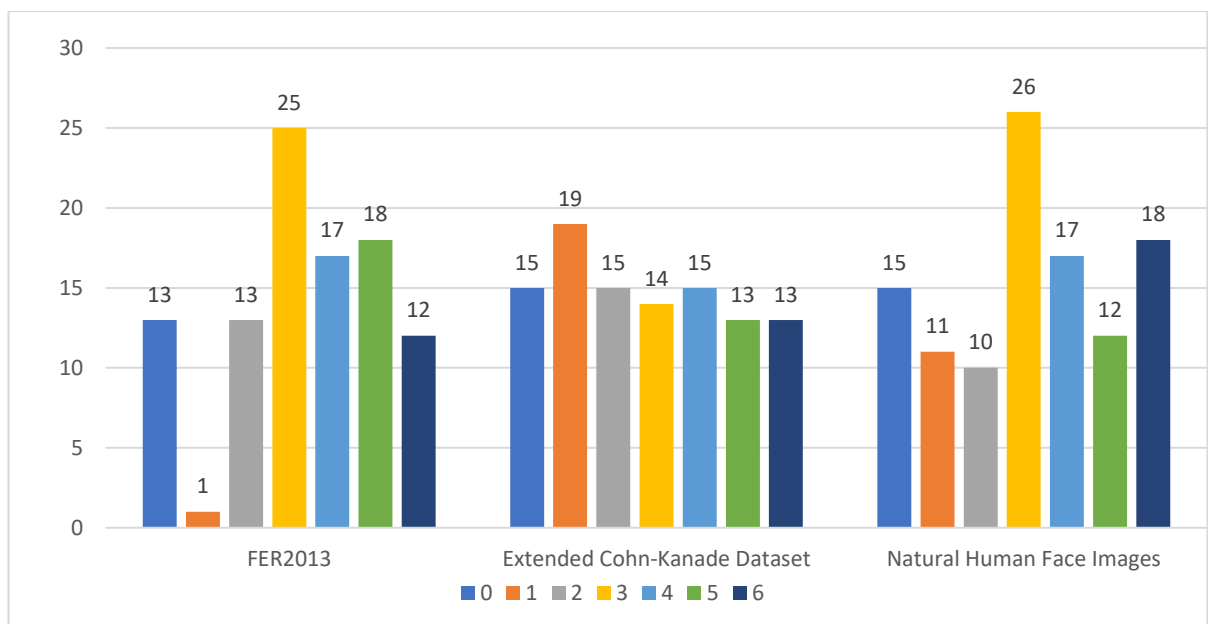


Рисунок 3.25 – Порівняння успішних класифікацій емоцій між базами для навчання

Із діаграми, зображеної на рисунку 3.25, можна зробити висновки, що емоція за номером 3, а саме «щастя» має найбільшу кількість успішних класифікацій, а найменшу кількість успішних класифікацій має емоція за номером 1 – «відраза». Попри різку кількість зображень у кожній із баз із зображенням при порівнянні можна побачити, що кількість зображень має не дуже значний вплив на якість розпізнавання емоцій.

3.7 Висновки

В цьому розділі було реалізовано:

- 1) програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi;
- 2) програму навчання нейронної згорткової мережі на основі бази зображень;
- 3) програму захоплення зображення в реальному часі для програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, приведення його до потрібного для мережі вхідного формату, визначення спектру емоцій на відповідному зображенні та визначення найбільш переважаючої емоції;
- 4) підпрограму для тестування точності визначення емоцій на основі додаткової бази зображень.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Автоматизація розпізнавання емоцій обличчя людини має велике значення в вирішенні задач в різних сферах, зокрема в медицині та маркетингу.

В першому розділі було виконано дослідження інформаційної бази стосовно глибинного навчання нейронних та згорткових нейронних мереж. Також було проведено дослідження роботи із платформою Raspberry Pi та її модулями.

В другому розділі було визначено завдання, порядок реалізації програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Прийнято рішення щодо платформи реалізації, операційної системи та мови програмування для написання коду програми розпізнавання емоцій обличчя людини. Окрім того, було визначено список потрібного обладнання та модулів, із яких буде складатись програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

В третьому розділі було реалізовано:

- 1) програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi;
- 2) програму навчання нейронної згорткової мережі на основі бази зображень;
- 3) програму захоплення зображення в реальному часі для програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, приведення його до потрібного для мережі вхідного формату, визначення спектру емоцій на відповідному зображенні та визначення найбільш переважаючої емоції;
- 4) підпрограму для тестування точності визначення емоцій на основі додаткової бази зображень.

Також було налаштовано та підготовано робоче середовище для реалізації програмної частини програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

В результаті роботи було створено програмно-технічний засіб розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi ресурсами мови програмування Python та бібліотек OpenCV, Keras та Tensorflow. Також, було проведено дослідження

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роботи та навчання згорткової нейронної мережі на різних базах зображень та здійснено їх порівняльний аналіз.

Метою роботи є проектування та реалізація програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi для автоматизації аналізу емоцій обличчя людей.

Об'єктом дослідження є алгоритми розпізнавання виразу обличчя людини в реальному часі за допомогою машинного навчання (DL) та архітектура побудови систем розпізнавання емоцій обличчя для їх агрегації, аналізу та класифікації.

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Практична цінність дослідження полягає в спроектованому та реалізованому програмно-технічному засобі для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, що надає можливість агрегування даних класифікації емоцій обличчя та визначення емоційного стану людини.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Grundmann F., Epstude K., Scheibe S. Face masks reduce emotion-recognition accuracy and perceived closeness. *Plos one*, 2021. №. 4. С. 525-537.
2. Ngai W. K. et al. Emotion recognition based on convolutional neural networks and heterogeneous bio-signal data sources. *Information Fusion*, 2022. С. 107-117.
3. Deeb H. et al. Human facial emotion recognition using improved black hole based extreme learning machine. *Multimedia Tools and Applications*, 2022. С. 111-124.
4. Canal F. Z. et al. A survey on facial emotion recognition techniques: A state-of-the-art literature review. *Information Sciences*, 2022. С. 593-617.
5. Khattak A. et al. An efficient deep learning technique for facial emotion recognition. *Multimedia Tools and Applications*, 2022. №. 2. С. 1649-1683.
6. Kumari N., Bhatia R. Efficient facial emotion recognition model using deep convolutional neural network and modified joint trilateral filter. *Soft Computing*, 2022. С. 301-314.
7. Ngai W. K. et al. Emotion recognition based on convolutional neural networks and heterogeneous bio-signal data sources. *Information Fusion*, 2022. С. 107-117.
8. Borgalli R. A., Surve S. Deep Learning Framework for Facial Emotion Recognition using CNN Architectures. 2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS). 2022. С. 1777-1784.
9. Baffour P. A. et al. A Survey on Deep Learning Algorithms in Facial Emotion Detection and Recognition. *Inform*, 2022. С. 213-230.
10. Amal V. S., Suresh S., Deepa G. Real-Time Emotion Recognition from Facial Expressions Using Convolutional Neural Network with Fer2013 Dataset. *Ubiquitous Intelligent Systems*, 2022. С. 541-551.
11. Dsouza D. J. et al. Real Time Facial Emotion Recognition Using CNN. *Journal of Positive School Psychology*, 2022. №. 2. С. 505-509.
12. Affectiva. URL: <https://www.affectiva.com/> (дата звернення 16.02.2022)
13. Wantent. URL: <https://www.wantent.io/> (дата звернення 16.02.2022)

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк 63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

14. EMODelect; URL: <https://emodetect.com/> (дата звернення 16.02.2022)
15. Towards Data Science. URL: <https://towardsdatascience.com/simple-introduction-to-convolutional-neural-networks-cdf8d3077bac> (дата звернення 15.02.2022)
16. Образ Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/> (дата звернення 10.03.2022)
17. Raspberry Pi Imager. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (дата звернення 10.03.2022).
18. Nginx. URL: <https://nginx.org/> (дата звернення 12.04.2022)
19. Donald A. Tevault Mastering Linux Security and Hardening: Protect your Linux systems from intruders, malware attacks, and other cyber threats, 2nd Edition. Packt Publishing US, 2020
20. Weidman A. Deep Learning from Scratch: Building with Python from First Principles: A. Weidman. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. 252 p.
21. Morena A. Artificial Vision and Language Processing for Robotics: Create end-to-end systems that can power robots with artificial vision and deep learning techniques: A.A. Morena, G.G. Molina, U.M. Garay. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 356 p.
22. Planche B. Hands-On Computer Vision with TensorFlow 2: Leverage deep learning to create powerful image processing apps with TensorFlow 2.0 and Keras: B. Planche, E. Andres. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 372 p.
23. Hodnett M. Deep Learning with R for Beginners: Design neural network models in R 3.5 using TensorFlow, Keras, and MXNet: M.Hodnett, J.F. Wiley, Y. Liu, P. Maldonado. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 612 p.
24. Marchi M.D. Hands-On Neural Networks: Learn how to build and train your first neural network model using Python: M.D. Marchi, L. Mitchell. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 280 p.
25. Michelucci. U. Advanced Applied Deep Learning: Convolutional Neural Networks and Object Detection: U. Michelucci. Dubendorf: Apress, 2019. 303 p.
26. Dutta P. Human Emotion Recognition from Face Images (Cognitive Intelligence and Robotics): P. Dutta, A. Barman. West Bengal: Springer, 2020. 253 p.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

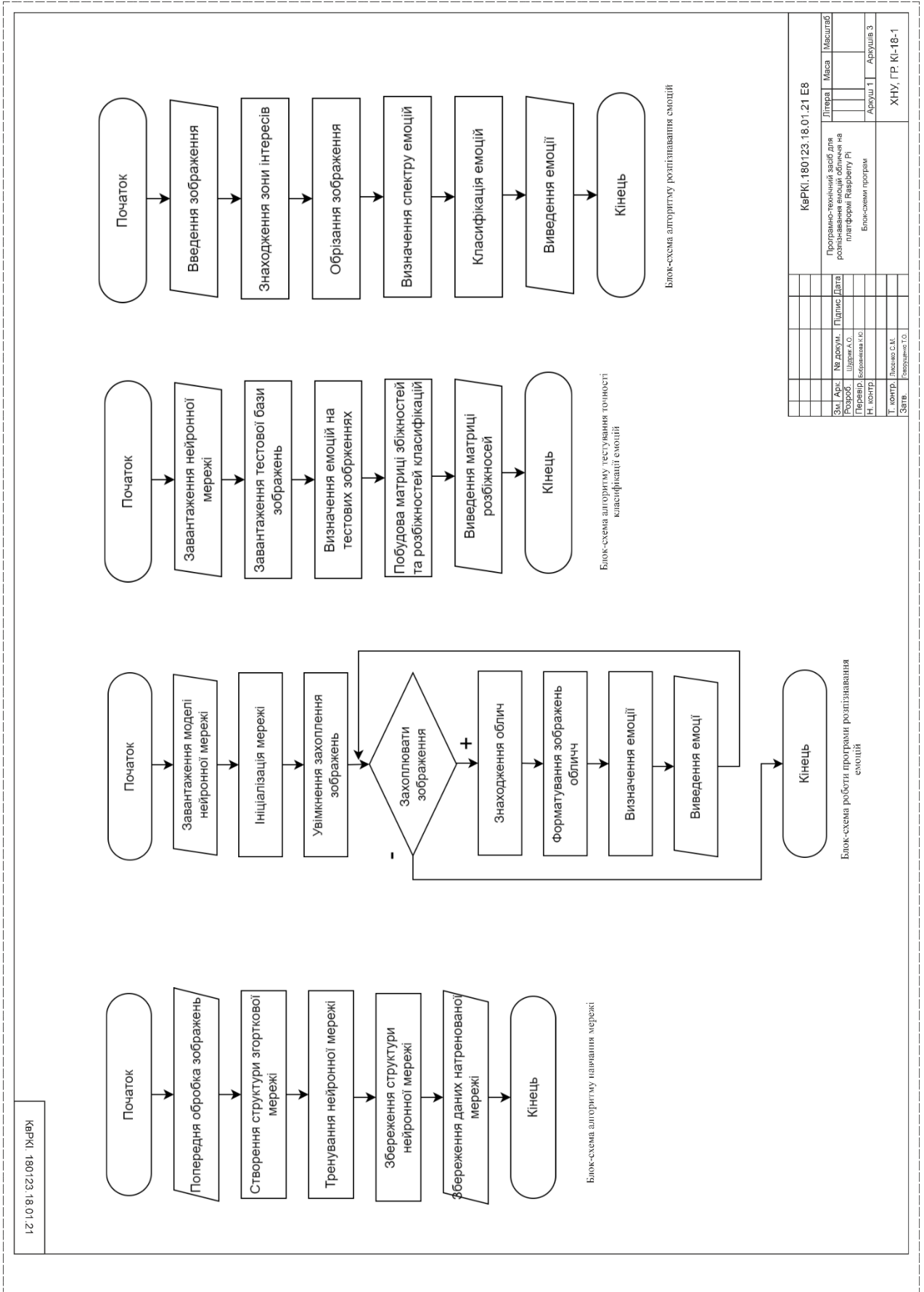
27. Prasanthi K.J. Human Emotion Recognition from face Images: Recognition and retrieval of emotions from facial expression: K.J. Prasanthi, K.P. Naga. Beau Basin: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 83 p.
28. Blokdyk G. Facial Recognition Technology A Clear and Concise Reference: G.Blokdyk. Brendale: 5STARCOOKS. 313 p.
29. Haronis M.N. Facial Recognition Technology: Best Practices, Future Uses and Privacy Concerns (Computer Science, Technology and Applications): M.N. Haronis. New York: Nova Science Pub Inc., 2019. 136 p.
30. Blokdyk G Facial Recognition A Complete Guide: G.Blokdyk. Brendale: 5STARCOOKS, 2020. 311 p.
31. Carey M. Artificial Intelligence Facial Recognition Threat Detection Environment (Artificial Intelligence Architectures): M. Carey. Scotts Valley: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2021. 58 p.
32. Liu H. Face Detection and Recognition on Mobile Devices 1st Edition: H. Liu. Waltham: Scholars' Press, 2019. 176.
33. Geron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems: A. Geron. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. 856 p.
34. Chollet F. Deep Learning with Python, Second Edition: F. Chollet. New York: Manning, 2021. 504 p.

					КВРКІ 180123.18.01.21 ПЗ	Арк 65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

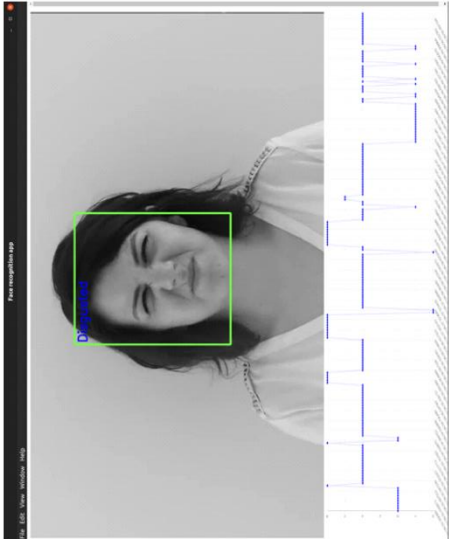
Копія креслення «Блок-схеми алгоритмів програм»



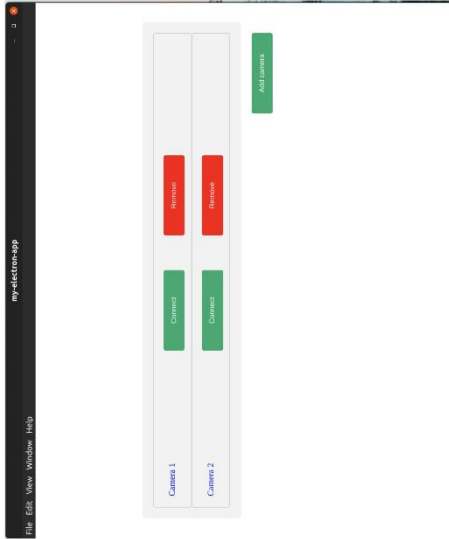
ДОДАТОК Б (обов'язковий)

Копія креслення «Інтерфейси програмно-технічного засобу»

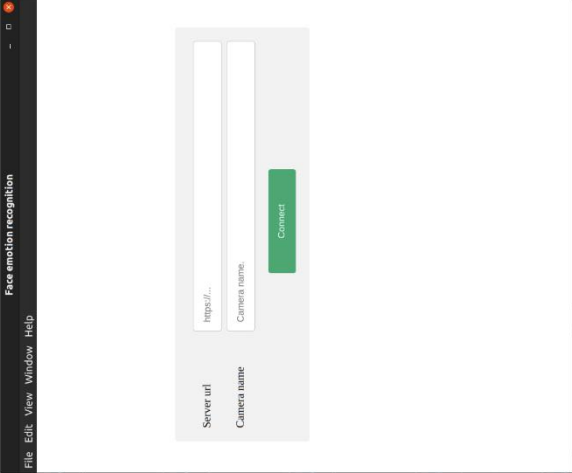
КвРК. 180123.18.01.21



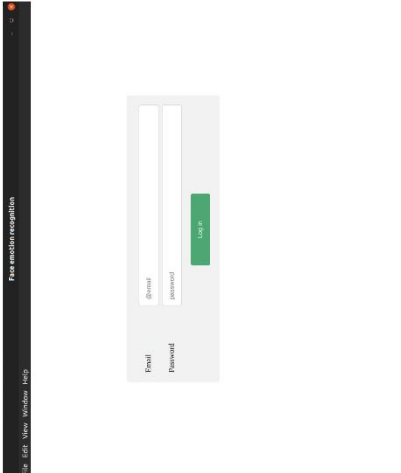
Сторінка трансляції відео із розпізнаванням емоцій обличчя людини



Сторінка підключення пристроїв



Сторінка додавання нового пристрою



Сторінка авторизації користувача

КвРК. 180123.18.01.21 E7

№ док.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Програмо-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi					
Інтерфейс програмно-технічного засобу			Аркуш 2	Аркуш 3	
Людський С.М.					
Розробник С.О.					

ХНУ, ГР. КІ-18-1

67

ДОДАТОК Г

Лістинг програмного коду

```
import numpy as np
from keras.models import model_from_json
import matplotlib.pyplot as plt
from keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from sklearn.metrics import confusion_matrix, classification_report, ConfusionMatrixDisplay

emotion_dict = {0: "Angry", 1: "Disgusted", 2: "Fearful", 3: "Happy", 4: "Neutral", 5: "Sad", 6:
"Surprised"}

# load json and create model
json_file = open('model/emotion_model.json', 'r')
loaded_model_json = json_file.read()
json_file.close()
emotion_model = model_from_json(loaded_model_json)

# load weights into new model
emotion_model.load_weights("model/emotion_model.h5")
print("Loaded model from disk")

# Initialize image data generator with rescaling
test_data_gen = ImageDataGenerator(rescale=1./255)

# Preprocess all test images
test_generator = test_data_gen.flow_from_directory(
    'data/test',
    target_size=(48, 48),
    batch_size=64,
    color_mode="grayscale",
    class_mode='categorical')
```

```

# do prediction on test data
predictions = emotion_model.predict_generator(test_generator)

# see predictions
# for result in predictions:
#     max_index = int(np.argmax(result))
#     print(emotion_dict[max_index])

print("-----")
# confusion matrix
c_matrix = confusion_matrix(test_generator.classes, predictions.argmax(axis=1))
print(c_matrix)
cm_display = ConfusionMatrixDisplay(confusion_matrix=c_matrix, display_labels=emotion_dict)
cm_display.plot(cmap=plt.cm.Red)
plt.show()

# Classification report
print("-----")
print(classification_report(test_generator.classes, predictions.argmax(axis=1)))

from datetime import datetime

import cv2
import numpy as np
from keras.models import model_from_json

emotion_dict = {0: "Angry", 1: "Disgusted", 2: "Fearful", 3: "Happy", 4: "Neutral", 5: "Sad", 6:
"Surprised"}

# load json and create model
json_file = open('model/emotion_model.json', 'r')
loaded_model_json = json_file.read()
json_file.close()
emotion_model = model_from_json(loaded_model_json)

```

```

# load weights into new model
emotion_model.load_weights("model/emotion_model.h5")
print("Loaded model from disk")

def startDetector():
    # start the webcam feed
    # cap = cv2.VideoCapture(0)

    # pass here your video path
    # you may download one from here : https://www.pexels.com/video/three-girls-laughing-5273028/
    cap = cv2.VideoCapture("data/test_emo.mp4")

    emo_list = list()
    time_list = list()

    while True:
        # Find haar cascade to draw bounding box around face
        ret, frame = cap.read()
        frame = cv2.resize(frame, (1280, 720))
        if not ret:
            break
        face_detector = cv2.CascadeClassifier('haarcascades/haarcascade_frontalface_default.xml')
        gray_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

        # detect faces available on camera
        num_faces = face_detector.detectMultiScale(gray_frame, scaleFactor=1.3, minNeighbors=5)

        # take each face available on the camera and Preprocess it
        for (x, y, w, h) in num_faces:
            cv2.rectangle(frame, (x, y - 50), (x + w, y + h + 10), (0, 255, 0), 4)
            roi_gray_frame = gray_frame[y:y + h, x:x + w]
            cropped_img = np.expand_dims(np.expand_dims(cv2.resize(roi_gray_frame, (48, 48)), -1), 0)

            # predict the emotions

```

```

emotion_prediction = emotion_model.predict(cropped_img)
maxindex = int(np.argmax(emotion_prediction))
# print(f'EMO : {maxindex}, {datetime.now()}")
emo_list.append(maxindex)
time_list.append(datetime.now().time())
cv2.putText(frame, emotion_dict[maxindex], (x + 5, y - 20),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (255, 0, 0), 2,
            cv2.LINE_AA)

cv2.imshow('Emotion Detection', frame)
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break

# emo_file = open("emo_file.txt", 'w')
# str_emo_list = [str(int) for int in emo_list]
# emo_str = ','.join(str_emo_list)
# emo_file.write(emo_str)
#
# time_file = open("time_file.txt", 'w')
# str_time_list = [f"{str(int)}" for int in time_list]
# time_str = ','.join(str_time_list)
# time_file.write(time_str)

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

startDetector()

# import required packages
import cv2

# Initialize image data generator with rescaling
from keras.mo

```

```

dels import Sequential
from keras.optimizer_experimental.adam import Adam
from tensorflow.python.keras.layers.convolutional import Conv2D
from tensorflow.python.keras.layers.core import Dropout, Flatten, Dense
from tensorflow.python.keras.layers.pooling import MaxPooling2D
from keras_preprocessing.image import ImageDataGenerator

train_data_gen = ImageDataGenerator(rescale=1. / 255)
validation_data_gen = ImageDataGenerator(rescale=1. / 255)

# Preprocess all test images
train_generator = train_data_gen.flow_from_directory(
    'data2/train',
    target_size=(48, 48),
    batch_size=64,
    color_mode="grayscale",
    class_mode='categorical')

# Preprocess all train images
validation_generator = validation_data_gen.flow_from_directory(
    'data2/test',
    target_size=(48, 48),
    batch_size=64,
    color_mode="grayscale",
    class_mode='categorical')

# create model structure
emotion_model = Sequential()

emotion_model.add(Conv2D(32, kernel_size=(3, 3), activation='relu', input_shape=(48, 48, 1)))
emotion_model.add(Conv2D(64, kernel_size=(3, 3), activation='relu'))
emotion_model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=2))
emotion_model.add(Dropout(0.25))

emotion_model.add(Conv2D(128, kernel_size=(3, 3), activation='relu'))
emotion_model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=2))

```

```

emotion_model.add(Conv2D(128, kernel_size=(3, 3), activation='relu'))
emotion_model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=2))
emotion_model.add(Dropout(0.25))

emotion_model.add(Flatten())
emotion_model.add(Dense(1024, activation='relu'))
emotion_model.add(Dropout(0.5))
emotion_model.add(Dense(7, activation='softmax'))

cv2.ocl.setUseOpenCL(False)

emotion_model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer=Adam(lr=0.0001, decay=1e-6),
metrics=['accuracy'])

# Train the neural network/model
# emotion_model_info = emotion_model.fit_generator(
#     train_generator,
#     steps_per_epoch=28709 // 64,
#     epochs=50,
#     validation_data=validation_generator,
#     validation_steps=7178 // 64)
emotion_model_info = emotion_model.fit_generator(
    train_generator,
    steps_per_epoch=5100 // 64,
    epochs=50,
    validation_data=validation_generator,
    validation_steps=2500 // 64)

# save model structure in json file
# model_json = emotion_model.to_json()
# with open("emotion_model_2.json", "w") as json_file:
#     json_file.write(model_json)

# save trained model weight in .h5 file
emotion_model.save_weights('emotion_model_2.h5')

```

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1011400238

Дата перевірки:
31.05.2022 16:12:43 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
31.05.2022 16:12:59 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Шудрик_Програмно технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Rasp...
Кількість сторінок: 60 Кількість слів: 6497 Кількість символів: 49115 Розмір файлу: 8.92 MB ID файлу: 1011282960

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

2.08% Схожість

Найбільша схожість: 1.32% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011282727)

0.6% Джерела з Інтернету	51	Сторінка 62
1.65% Джерела з Бібліотеки	85	Сторінка 62

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Підозріле форматування 15 сторінок

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 104279 Название: Програмно технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi Добавлено в БД: 2022-05-31 Авторы: А.О.Шудрик Руководители: К.Ю. Бобровнікова Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	42853	398	470 (1%)	6 (2%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Шудрик Андрій Олександрович

Тема: Програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 59

- 1.Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування та реалізація програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi для автоматизації аналізу емоцій обличчя людей.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
- 3.Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: Розділ 1 – проведено дослідження предметної області (проаналізовано теорію розпізнавання емоцій обличчя, проектування нейронних мереж, огляд платформи для реалізації) та виконано постановку задачі дослідження. Розділ 2 – здійснено проектування програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, а саме: розроблено алгоритми програмно-технічного засобу для розпізнавання обличчя на платформі Raspberry Pi; підготовано бази зображень для навчання нейронної мережі; підібрано апаратні складові для проектування програмно-технічного засобу. Розділ 3 – виконано програмно-технічну реалізацію засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi, а саме: реалізовано схему електричну функціональну програмно-технічного засобу для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi; змодельовано схему в середовищі Fritzing; розроблено нейронну мережу для розпізнавання емоцій обличчя людини; розроблено серверну частину для програмної реалізації програмно-технічного засобу; розроблено програмний інтерфейс управління програмно-технічним засобом для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.
- 4.Позитивні сторони роботи: Застосування розробленого програмно-технічного засобу надає можливість агрегування даних класифікації емоцій обличчя та визначення емоційного стану людини.

- 5.Негативні сторони роботи: _____
- 6.Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.
- 7.Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному інженерно-технічному рівні.
- 8.Інші зауваження: _____
- 9.Оцінка дипломної роботи: відмінно
- Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Гурман Іван Васильович, к.т.н., доцент кафедри інженерії програмного забезпечення

“ 1 ” червня 2022 р.

Іван Гурман (підпис)

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

23.04.2022

дата



підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Програмно-технічний засіб для розпізнавання емоцій обличчя на платформі Raspberry Pi.

Автор: Шудрик Андрій Олександрович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Бобровнікова Кіра Юліївна, к.т.н.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

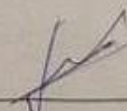
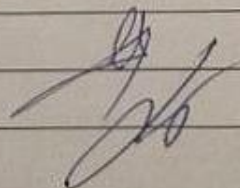
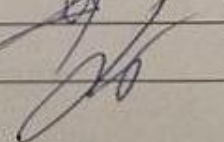
- 1) запозичення, які мають місце в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення є фрагментарними, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано зарезервовані ключові слова мови програмування, які використовуються для розв'язку великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення.
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів із україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 2.08% і адресується до 85 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП

К. Ю.Бобровнікова

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко