

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система розпізнавання образів
на основі Raspberry PI*

Виконав: студент IV курсу, групи СІс-44
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гузар Д.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яцишин В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гром'як Р.С.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гузару Денису Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry Pi -

Керівник роботи Яцишин Василь Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» лютого 2021 року № 4.7-97

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Методи машинного навчання, бібліотеки object detection, характеристики Raspberry Pi, мова програмування Python

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Дослідження існуючих систем розпізнавання образів та аналіз технічного завдання. 2. Побудова моделі розпізнавання образів та архітектури комп'ютеризованої системи. 3. Налаштування параметрів Raspberry Pi та реалізація програмного забезпечення розпізнавання образів. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Апаратні інтерфейси Raspberry Pi.
2. Схема електрична принципова та призначення інтерфейсу GPIO
3. Архітектура комп'ютеризованої системи розпізнавання образів
4. Типова структура згорткової нейронної мережі
5. Архітектура нейронної мережі VGG-16
6. Результати розпізнавання образів

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>Пилипець М.І., д.т.н., проф. каф. МТ</i> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | <i>Розробка та аналіз технічного завдання</i> | <i>10.02-21.02.2021</i> | |
| 2 | <i>Аналіз існуючих рішень до побудови систем розпізнавання образів</i> | <i>21.02-07.03.2021</i> | |
| 3 | <i>Аналіз особливостей апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи</i> | <i>08.03-20.03.2021</i> | |
| 4 | <i>Проектування та налаштування параметрів Raspberry PI</i> | <i>20.03-26.03.2021</i> | |
| 5 | <i>Обґрунтування вибору бібліотек і формування навчальної вибірки зображень</i> | <i>27.03-10.04.2021</i> | |
| 6 | <i>Проектування програмної реалізація моделі розпізнавання образів</i> | <i>10.04-04.05.2021</i> | |
| 7 | <i>Розробка інструкцій із встановлення та налаштування параметрів комп'ютеризованої системи розпізнавання образів</i> | <i>04.05-20.05.2021</i> | |
| 8 | <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>20.05-27.05.2021</i> | |
| 9 | <i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i> | <i>27.05-10.06.2021</i> | |
| 10 | <i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i> | <i>10.06-20.06.2021</i> | |
| 11 | <i>Захист кваліфікаційної роботи</i> | <i>21.06-27.06.2021</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

Гузар Денис Русланович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Яцишин Василь Володимирович

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI // Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр // Гузар Денис Русланович // ТНТУ, спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»// Тернопіль, 2021 // с.– 65, рис. – 52 , табл. – 12, аркушів А1 – 6, бібліогр. – 22.

Ключові слова: система, розпізнавання, виявлення, образ, Raspberry PI.

У даній роботі спроектовано та реалізовано прототип комп'ютеризованої системи розпізнавання образів на основі Raspberry PI з використанням бібліотек, машинного навчання, зокрема TensorFlow та OpenCV.

Перед безпосереднім проектуванням комп'ютеризованої системи розроблено та проаналізовано технічне завдання і проведено його аналіз. У результаті цього, встановлено вимоги до апаратного і програмного забезпечення комп'ютеризованої системи. Окрім цього, для розпізнавання візуальних образів досліджено існуючі набори даних щодо об'єктів реального світу на основі яких запропоновано побудувати модель інтелектуального розпізнавання образів.

При реалізації комп'ютеризованої системи розпізнавання образів застосовано попередньо навчені нейронні мережі VGG-16 та архітектуру SSMD, які підтримуються бібліотеками TensorFlow та OpenCV.

Програмну реалізацію системи розпізнавання образів реалізовано мовою програмування Python, що підтримується операційною системою Raspberry PI OS.

ABSTRACT

Raspberry PI-based computer-aided system of images identification// Bachelor's thesis // Huzar Denys Ruslanovych // TNTU, speciality 123 «Computer engineering»// Ternopil, 2021 // p.– 65 , fig. – 52 , tab. –12, posters A1 – 6, ref. – 22.

Keywords: system, detection, recognition, object, Raspberry PI.

In this work, a prototype of a computerized image recognition system based on Raspberry PI using libraries, machine learning, in particular TensorFlow and OpenCV, was designed and implemented.

Before the direct design of the computerized system, the technical task was developed and analyzed and its analysis was performed. As a result, computer hardware and software requirements are set. In addition, for the recognition of visual images, the existing sets of data on real-world objects were studied, on the basis of which it was proposed to build a model of intelligent image recognition. Pre-trained VGG-16 neural networks and SSMD architecture, supported by TensorFlow and OpenCV libraries, are used in the implementation of the computerized image recognition system.

The software implementation of the image recognition system is implemented in the Python programming language, which is supported by the Raspberry PI OS operating system.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ | 8 |
| ВСТУП | 9 |
| РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ | 11 |
| 1.1 Аналіз технічного завдання щодо проектування комп'ютеризованої системи розпізнавання образів | 11 |
| 1.2 Навчальні вибірки при проектуванні систем розпізнавання образів | 17 |
| РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ТА АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ | 25 |
| 2.1 Проектування архітектури комп'ютеризованої системи розпізнавання образів | 25 |
| 2.2 Функціональні можливості та особливості застосування Raspberry PI..... | 27 |
| 2.3 Raspberry PI Camera Module та пристрої виводу відео зображення..... | 32 |
| 2.4 Обґрунтування топології нейронної мережі та побудова моделі розпізнавання образів | 36 |
| РОЗДІЛ 3 НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ RASPBERRY PI ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ | 44 |
| 3.1 Інсталяція Raspberry PI OS | 44 |
| 3.2 Інсталяція програмного забезпечення Raspberry PI Camera Module..... | 51 |
| 3.3 Інсталяція бібліотек для реалізації моделі розпізнавання образів | 52 |
| 3.4 Програмна реалізація і тестування моделі розпізнавання образів | 55 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|--|--------------------------------------|-------------|---------------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | <i>Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркуші</i> |
| <i>Розроб.</i> | | <i>Гузар Д.Р.</i> | | | | | 6 | |
| <i>Перевір.</i> | | <i>Яцишин В.В.</i> | | | | <i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44</i> | | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | <i>Луцик Н.С.</i> | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | <i>Осухівська Г.М.</i> | | | | | | |

| | | |
|--|---|----|
| РОЗДІЛ 4 | БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ | 61 |
| 4.1 | Роль центральної нервової системи в трудовій діяльності людини | 61 |
| 4.2 | Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці на виробництві | 63 |
| | ВИСНОВКИ | 66 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 67 |
| Додаток А. Технічне завдання | | |
| Додаток Б. Програмний код моделі розпізнавання образів | | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,
СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

| | |
|------|-------------------------------|
| КС | Комп'ютерна система |
| ПЗ | Програмне забезпечення |
| ЗНМ | Згортова нерйонна мережа |
| РНМ | Рекурентна нейронна мережа |
| CNN | Convolutional Neural Network |
| GPU | Graphics Proccesing Unit |
| RGB | Red Green Blue |
| RNN | Recurrent Neural Network |
| UXGA | Ultra Extended Graphics Array |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

ВСТУП

Сучасне зростання продуктивності обчислювальних машин, об'ємів накопиченої інформації, поява IoT технологій і хмарних сервісів дозволяють розв'язувати клас задач, які стосуються цифрового опрацювання інформації.

У XXI столітті активно розвиваються технології штучного інтелекту, які в залежності від природи і джерел їхнього походження дають можливість доволі точно прогнозувати ті чи інші показники у технологічних і бізнес-процесах, виконувати розпізнавання текстової і графічної інформації, будувати рекомендаційні сервіси та ін.. Сьогодні доволі актуальним напрямом як в науці, так і на практиці, є розділ під назвою комп'ютерний зір. Застосування технологій computer vision відбувається у багатьох прикладних областях, наприклад у системах моніторингу транспортних потоків, при розпізнаванні номерних знаків, у системах біометричної ідентифікації особи, при виявленні та прогнозуванні росту тріщин на шляхопроводах, при ідентифікації атипових утворень у людей, розшифруванні та аналізі результатів томографії.

До 2017 року вважали, що найбільш досконалою системою розпізнавання графічних об'єктів є людський мозок, однак після побудови і навчання нейромережі, запропонованої компанією Google, ситуація змінилась і тепер машина краще виявляє і розпізнає образи. Однак все ж існують проблеми щодо поповнення навчальних вибірок, розпізнавання багатьох об'єктів на одному зображенні, масштабування і повороту зображень та ін.

Методи розпізнавання образів часто використовують спеціалізовані функції та алгоритми навчання для розпізнавання зображень і об'єктів, що належать до деякої категорії. Відмінністю розпізнавання образів та їх ідентифікації є те, що виявлення об'єктів спрямоване на локалізацію конкретного об'єкта. Кожен об'єкт або клас об'єктів має свої власні особливості, які характеризують його і відрізняють від решти тим самим, допомагаючи у розпізнаванні подібних об'єктів на інших зображеннях або відео. Розпізнавання об'єктів застосовується в багатьох областях

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

комп'ютерного зору, включаючи пошук зображень, охорону, спостереження, автоматизовані системи паркування автомобілів та перевірку машин.

У кваліфікаційній роботі проектується комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI, що дозволить проводити ідентифікацію об'єкту з певним рівнем приналежності до відомих класів об'єктів і може бути використана у побутовій сфері.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз технічного завдання щодо проектування комп'ютеризованої системи розпізнавання образів

Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI призначена для виявлення та ідентифікації об'єктів реального світу, що може використовуватися у різних сферах людської діяльності. При проведенні наукових досліджень, наприклад виявленні і визначенні поведінки тріщин в реальному часі, можна спостерігати і прогнозувати їх розвиток. У галузі забезпечення безпеки дорожнього руху, такі системи можуть запобігати ДТП, або спрогнозувати виникнення небезпечних ситуацій. У медицині системи комп'ютерного зору забезпечують ідентифікацію різного роду нетипових утворень, а також дають змогу ідентифікувати сторонні об'єкти, їх точне розміщення і форму, а та спрогнозувати шляхи усунення.

Виявлення та розпізнавання образів є складною проблемою сфери комп'ютерного зору. Суть такого процесу полягає у захопленні зображення з відеопотоку або аналізу збереженого відеофайлу з подальшою ідентифікацією образів, які становлять зацікавленість кінцевих користувачів, а після цього класифікації об'єктів за наперед визначеними класами.

Сферою застосування цього розділу комп'ютерного зору можуть бути відстеження людей на пішохідному переході, відстеження людей для розпізнавання обличчя, пошуку перешкод при експлуатації автомобілів та допомоги роботам у визначенні об'єктів, якими можна маніпулювати. Однією із трендових тенденцій застосування технологій комп'ютерного зору є віддалена відео інспекція, коли інспектор-людина спостерігає об'єкти реального світу, але

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--|--------------------------------------|-------------|----------------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Гузар Д.Р. | | | <i>Дослідження характеристик існуючих систем розпізнавання образів та аналіз технічного завдання</i> | <i>Лім.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i> | | Яцишин В.В. | | | | | 11 | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44 | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Луцик Н.С. | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Осухівська Г.М. | | | | | | |

фізично не перебуває у визначеному місці звідки ведеться трансляція. Це дуже корисно, коли до об'єктів важко отримати доступ або вони перебувають у небезпечних для людини умовах. До таких типових систем комп'ютерного зору належать апаратно-програмні комплекси в авіаційних та космічних апаратах, у сфері нагляду за процесами у нафтогазопроводах, атомних електростанціях тощо.

Побудова комп'ютеризованої системи розпізнавання образів на основі Raspberry PI передбачає одержання відеоінформації в реальному часі, виконання процедур виділення кадрів зображень, їх аналіз на предмет відомих об'єктів та автоматичну їх класифікацію. Реалізація такої системи дозволить підвищити точність та якість процесів, що вимагають ідентифікації та розпізнавання образів.

Мета побудови комп'ютеризованої системи розпізнавання образів полягає у забезпеченні можливості підвищення якості ідентифікації об'єктів реального світу для прогнозування та виявлення потенційно небезпечних ситуацій і допомоги операторам систем відеомоніторингу.

Основними задачами, які необхідно розв'язати для досягнення мети є наступні:

- провести дослідження особливостей систем розпізнавання образів та підходів до їх проектування;
- проаналізувати технічні характеристики і дослідити параметри та налаштування міні-комп'ютера Raspberry PI на предмет реалізації системи ідентифікації та розпізнавання об'єктів різних класів;
- обґрунтувати вибір програмних бібліотек для розв'язання задачі розпізнавання образів;
- визначити вимоги до інфраструктури і даних при розпізнаванні образів;
- налаштувати параметри системного програмного забезпечення Raspberry PI для одержання відеозображень з камери ;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- обґрунтувати вибір і реалізувати засобами мови програмування Python модель розпізнавання образів;
- підготувати класи зображень для ідентифікації об'єктів;
- провести тестування системи.

Комп'ютеризовану систему розпізнавання образів доцільно використовувати у сферах, де необхідно забезпечити підтримку прийняття рішень щодо природи і поведінки об'єкту, приналежності його до певного класу наперед відомих об'єктів, а також автоматизації процесу відеомоніторингу в умовах реального часу.

Для автоматизації процесу розпізнавання образів необхідним є застосування відповідних апаратних і програмних засобів, а також виявлення обмежень на середовище функціонування системи в частині передачі інформації. До основних апаратних компонентів комп'ютеризованої системи розпізнавання образів можна віднести:

- міні-комп'ютер Raspberry PI;
- камера з підтримкою та інтерфейсами комунікації з Raspberry PI;
- персональний комп'ютер для прототипування інтелектуальної складової розпізнавання образів і завантаження на Raspberry PI;
- пристрій виводу інформації при трансляції відео;
- сервер для зберігання навчальної вибірки зображень.

До складу системного та прикладного програмного забезпечення комп'ютеризованої системи розпізнавання образів потрібно віднести:

- операційна система Raspbian;
- бібліотеки OpenCV, Tensorflow;
- зображення навчальної вибірки, визначеного формату;
- середовище Jupyter Notebook.

Комп'ютеризована система розпізнавання образів повинна володіти засобами авторизованого доступу до програмного та апаратного забезпечення, забезпечувати функціональність щодо трансляції відеопотоку з нанесеними маркерами і рамками об'єктів реального світу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI повинна вирішувати задачі ідентифікації та формування підписів до об'єктів, які потрапляють в об'єктив відеокамери з імовірністю приналежності до наперед визначених класів. Реалізація системи може бути виконана на основі попередньо навчених нейронних мереж, виконувати автоматичне виділення кадрів, а також забезпечувати трансляцію потокового відео у наближених до реального часу умовах. Для цього, комп'ютеризована система має відповідати наступним вимогам:

- надійне та визначене технічним регламентом безперебійне функціонування апаратних пристроїв;
- захоплення та аналіз відеопотоку в реальному часі;
- продуктивність функціонування програмно-апаратного комплексу системи із затримками до 1с;
- паралельний авторизований доступ користувачів-операторів до відеоінформації, одержуваної з відеокамери;
- можливість донавчання нейронної мережі та розширення навчальної вибірки;
- ефективне використання процесорного часу, об'єму оперативної пам'яті та ін. компонентів для забезпечення необхідної функціональності комп'ютеризованої системи;
- забезпечення доступу до системи розпізнавання образів програмними засобами, зокрема з використанням різних типів браузерів.

Структура комп'ютеризованої системи розпізнавання образів включає в себе:

- міні-комп'ютер Raspberry PI;
- відеокамера;
- програмна модель машинного навчання для розпізнавання образів;
- множина зображень навчальної вибірки;
- середовище Jupyter Notebook;
- бібліотеки Tensorflow та OpenCV.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Комп'ютеризована система розпізнавання образів повинна виконувати функції відеотрансляції, ідентифікації об'єктів, їхнього розпізнавання із заданої точністю щодо приналежності до певного класу.

До функцій комп'ютеризованої системи відеоспостереження належать:

- можливість трансляції відеопотоку у локальну мережу;
- можливість ідентифікації об'єктів, захоплених відеокамерою;
- можливість формування та розширення навчальної вибірки зображень об'єктів ;
- накладання рамки на межі об'єкта;
- формування підпису з назвою об'єкту або класу об'єктів з визначеною достовірністю ;
- здатність системи до донавчання шляхом додавання нових зображень об'єктів;
- санкціоноване керування доступом до програмних і апаратних ресурсів комп'ютеризованої системи;
- час відгуку системи $< 1\text{c}$;
- здатність до взаємодії із зовнішніми сервісами.

Обмін даними між Raspberry PI та сервером для зберігання зображень, а також клієнтськими пристроями забезпечується застосуванням технології передачі даних WiFi на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц. Також за необхідності можливий обмін даними через USB інтерфейс.

До вимог щодо діагностики комп'ютеризованої системи розпізнавання образів належать здатність перевірки коректної ініціалізації апаратних пристроїв, а також налагодження і самотестування програмного забезпечення. Операції з діагностування системи відбуваються згідно із визначеним планом, або у випадку виявлення збоїв роботи системи.

Перспективами розвитку комп'ютеризованої системи розпізнавання образів є перехід на новіші Raspberry PI модулі з кращими технічними характеристиками, зокрема об'ємом RAM 8 ГБ, або інші платформи з підтримкою моделей, реалізованих за допомогою мови програмування Python.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Щодо інтелектуальної складової комп'ютеризованої системи розпізнавання образів, то перспективами розвитку є покращення точності розпізнавання образів, накопичення більшої кількості зображень різних об'єктів, можливість повторного навчання системи, а також формування контейнерів для їх запуску на інших програмно-апаратних платформах.

Вимогами до надійності комп'ютеризованої системи розпізнавання образів є:

- час перебіжної роботи системи – 99,9%;
- здатність до відновлення після збоїв;
- обмеження фізичного доступу до апаратного забезпечення;
- авторизований доступ до програмного забезпечення сервера;
- виведення сервісних повідомлень про некоректність функціонування системи;
- стабільність відеотрансляції;
- авторизований одночасний доступ кількох користувачів.

До функцій та задач, виконання яких повинна забезпечити комп'ютеризована система розпізнавання образів, належать:

- здатність забезпечити відтворення об'єктів за допомогою відеокамери у режимі реального часу;
- можливість керування параметрами роздільної здатності камери за допомогою Raspberry PI;
- забезпечення можливості зчитування відеозображення клієнтськими пристроями;
- здатність розпізнавати об'єкти предметної області;
- можливість формування підписів захоплених відеокамерою об'єктів, їх назв та імовірності приналежності до визначеного класу образів;
- можливість навчання та донавчання моделі розпізнавання образів;
- можливість керування параметрами якості розпізнавання образів;
- здатність накопичувати нові дані про об'єкти середовища, де використовується система;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- здатність управління процедурами доступу до зображень та відео;

Апаратне забезпечення комп'ютеризованої системи розпізнавання образів включає в себе наступні компоненти, вимогами до яких є:

- Raspberry PI 3 з підтримкою WiFi передачі даних, об'ємом оперативної пам'яті 1 Гб;
- SD-картка, об'ємом до 4 Гб;
- Модуль камери Raspberry Pi Camera Module;

Апаратні вимоги до клієнтських станцій системи розпізнавання образів:

- тактова частота процесора більше 1,8 ГГц;
- мінімальний об'єм оперативної пам'яті 2 Гб;
- об'єм жорсткого диску - 64 Гб.

Вимоги до апаратного забезпечення сервера:

- тактова частота процесора більше 2,0 ГГц з мінімальною кількістю паралельних потоків 8;
- мінімальний об'єм оперативної пам'яті 16 Гб;
- об'єм жорсткого диску – 8 Тб.

В якості системного програмного забезпечення Raspberry PI використовується операційна система Raspbian з підтримкою Python. Програмне забезпечення робочих станцій може базуватись на будь-якій операційній системі за наявності web-браузера. Програмне забезпечення сервера – Linux-подібне, або хмарний сервіс.

1.2 Навчальні вибірки при проектуванні систем розпізнавання образів

Комп'ютерний зір відноситься до області штучного інтелекту, який швидко розвивається. Для того, щоб полегшити роботу при проектуванні таких систем, зокрема, моделей та їхніх архітектури, деякі фірми поділились сформованими навчальними вибірками.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Одним з таких наборів даних є модифікована база даних рукописних цифр Національного інституту стандартів і технологій (MNIST). Цей набір представляє собою елементарну колекцію даних для комп'ютерного зору, що містить 70 тисяч зображень рукописних цифр для кожного числа, тобто 0 – 9, які відформатовані у форматі сірого 28x28. Дані підготував професор Янн ЛеКун. Дані попередньо розділені на навчальну вибірку (60 тисяч) і тестовий набір (10 тисяч). Усі цифри розміщені у центрі зображення. Даний набір є корисним для фундаментального проекту комп'ютерного зору, коли необхідно автоматично оцифрувати рукописний текст (рис. 1.1.).

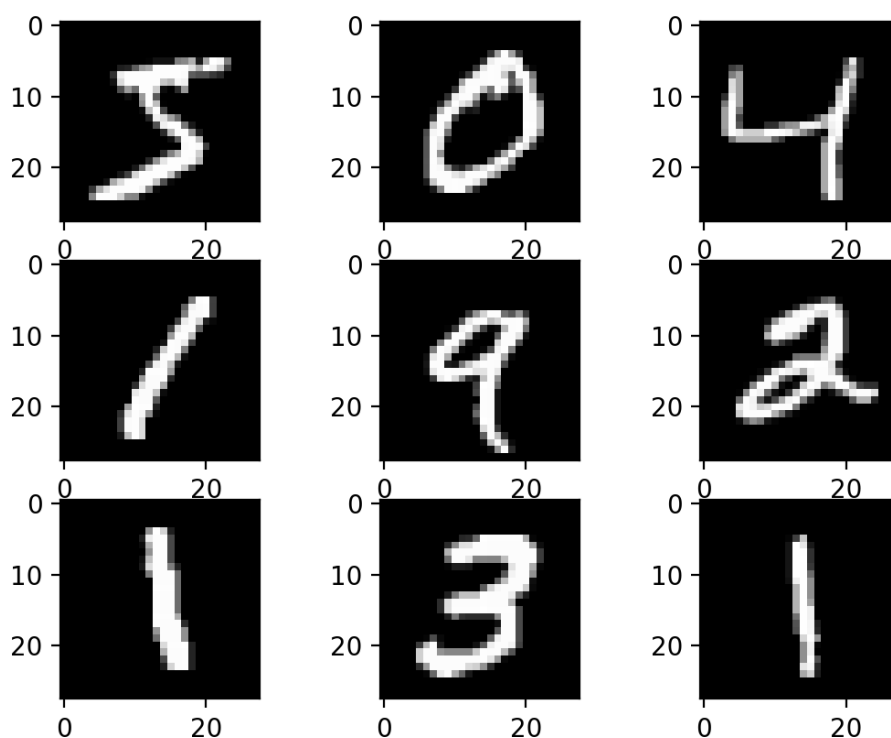


Рисунок 1.1 – Приклад даних з набору даних MNIST

Колекція MNIST fashion подібна до попереднього набору даних, однак відмінність полягає в тому, що всі зображення розміщені у відтинках сірого розміром 28x28. Для зображень цієї колекції визначено маркери щодо приналежності до 10 класів, а самі зображення стосуються моди і включають такі елементи одягу, як футболка/топ, брюки, пуловер, сукню, пальто, сандалі, сорочку, кросівки, сумки та ботильйони. Ці дані сформовані дослідницькою

групою Zalando, що займається роздрібною торгівлею одягу. Приклад зображень колекції MNIST fashion показано на рис. 1.2.

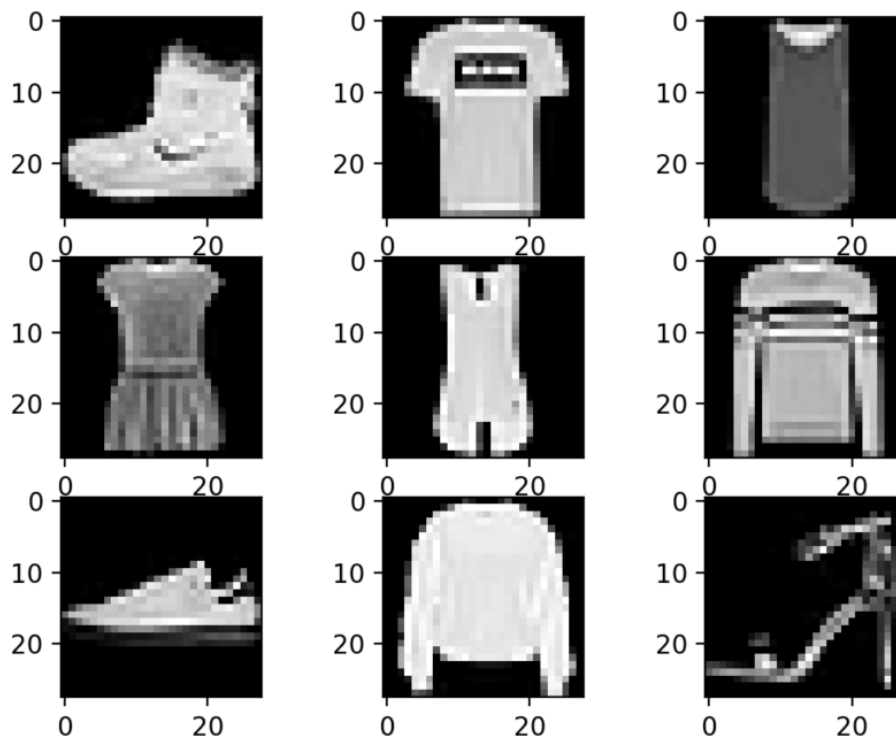


Рисунок 1.2 – Приклад зображень колекції MNIST fashion

Набори даних CIFAR-10 і CIFAR-100 підготовлені Канадським інститутом перспективних досліджень. CIFAR-10 складається з 60 тисяч зображень розподілених за 10-ма класами. Дана колекція включає зображення літаків, автомобілів, птахів, котів, оленів, собак, жаб, коней, кораблів і вантажівок.

CIFAR-100 схожий на CIFAR-10. До складу цього набору входять 60 тисяч зображень, але тепер вже передбачено 100 класів, тобто 600 зображень на кожен клас.

Колекції CIFAR-10 і CIFAR-100 є зручними для використання, оскільки всі вони відформатовані у форматі 32x32 пікселі та попередньо розділені на навчальний набір із 50 тисяч зображень та тестовий набір із 10 тисяч зображень з рівною часткою даних з усіх класів. На рис. 1.3 показано приклади зображень даних наборів зображень.

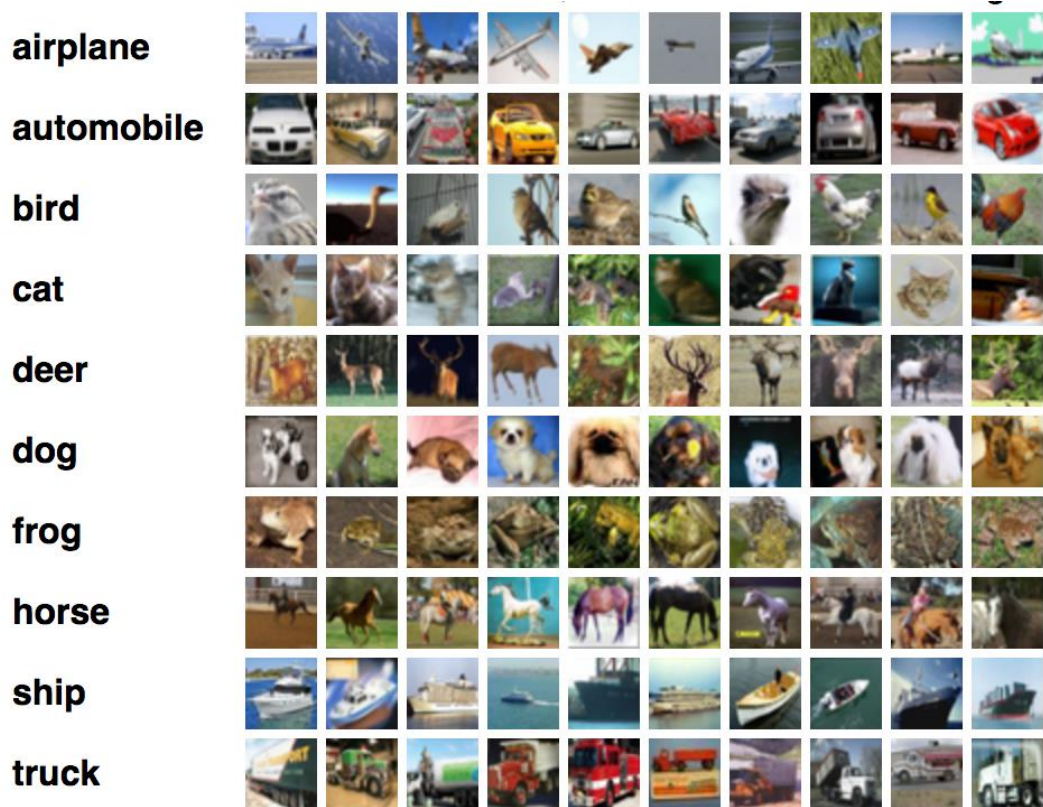


Рисунок 1.3 – Зображення колекцій CIFAR-10 і CIFAR-100

Набір даних IMDB-Wiki містить 520 тисяч зображень обличчя, виділених з IMBD та Вікіпедії. Дані містять важливу метаінформацію, наприклад розташування обличчя на зображенні, ім'я, дата народження та стать людини на фотографіях. Цей набір даних зазвичай використовується для завдань прогнозування статі та віку, а приклад зображень з цієї колекції показано на рис. 1.4.

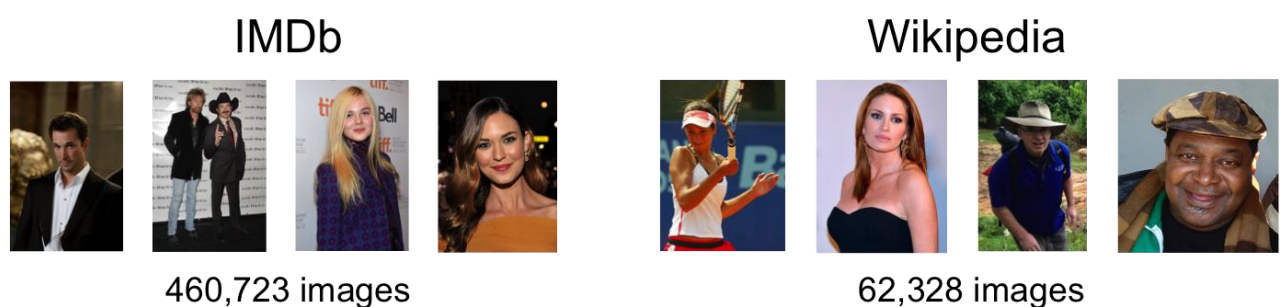


Рисунок 1.4 – Зображення з колекції IMDB-Wiki

ImageNet набір даних створено спільно Стенфордським університетом та Принстонським університетом для типового змагання з комп'ютерного зору під назвою ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC), де командам-учасникам було запропоновано 5 основних завдань, тобто класифікація об'єктів, локалізація об'єктів, виявлення об'єктів, виявлення та розпізнавання об'єктів з відео за допомогою набору даних ImageNet.

Цей набір даних побудований на основі ієрархії WordNet (лексична база даних для англійської мови), де містяться лише іменники. В середньому на кожен вузол ієрархії припадає понад 500 зображень. Всього є понад 1,4 мільйона зображень понад 220 тисяч класів. Наразі це найбільший доступний набір зображень, який є відкритим і загальнодоступним (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Екземпляри набору ImageNet

Набір PASCAL VOC даних було відкрито дослідницьким інститутом PASCAL, що фінансується Європейським Союзом. Дана колекція містить зображення за 4-ма основними темами і включає транспортні засоби, домашнє господарство, тварин та людей. Зображення, окрім цього, поділено на 20 підкатегорій. Незважаючи на те, що обсяг даних і різновиди класів не такі, як ImageNet, набір даних PASCAL VOC широко використовується в ранніх розробках виявлення та сегментації об'єктів. На рис. 1.6 наведено типові зображення колекції зображень PASCAL VOC.

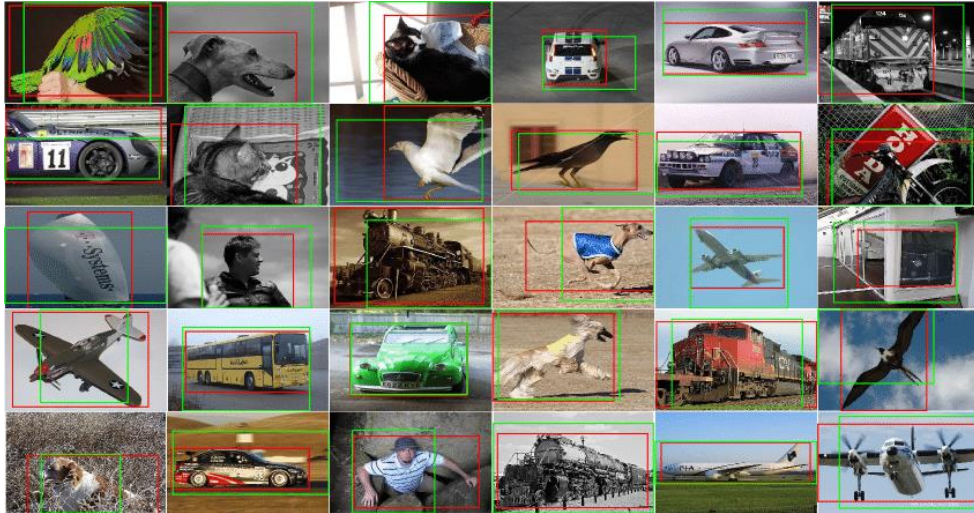


Рисунок 1.6 – Зображення набору даних PASCAL VOC

Набір даних LabelMe створюється за допомогою LabelMe-інструменту відкритих анотацій, який дозволяє користувачам окреслити межі об'єкту та додати до нього текст анотації. Інструмент підтримується MIT з метою побудови баз даних зображень для дослідження комп'ютерного зору. Цей набір даних зазвичай використовується для сегментації зображень. На рис. 1.7 показано екземпляри зображень набору даних LabelMe.

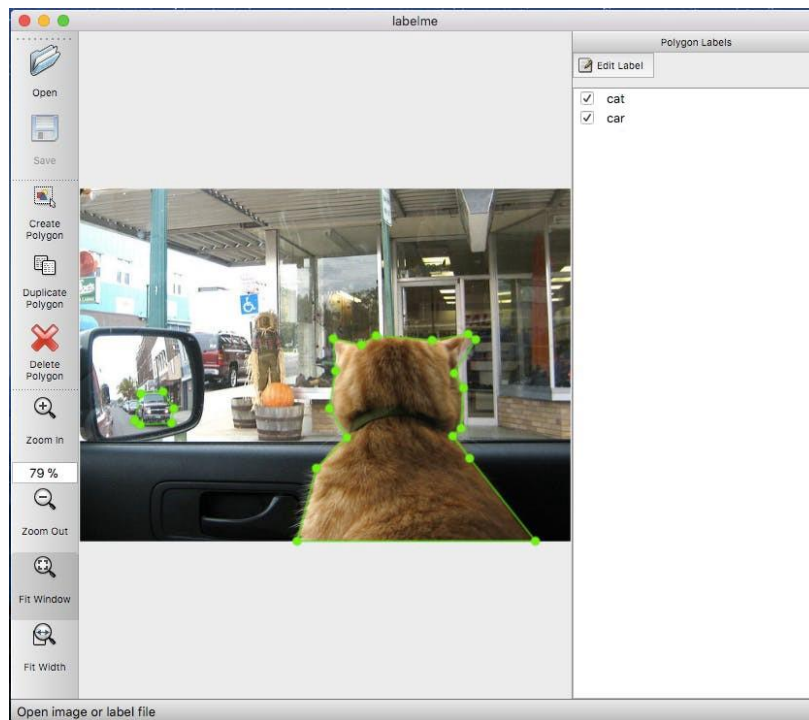


Рисунок 1.7 – Екземпляри зображень набору даних LabelMe

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Колекція MS COCO Dataset опублікувана компанією Microsoft, що дозволяє ідентифікацію об'єктів, їх сегментацію, виявлення ключових точок людини, сегментацію матеріалів та генерацію підписів. У цьому наборі даних є понад 120 тисяч зображень із понад 880 тисячами тегів (на кожному зображенні дозволено кілька тегів). Загалом існує 91 категорія. Незважаючи на те, що загальна кількість зображень і категорій менша, ніж ImageNet, однак кількість зображень для кожної категорії становить щонайменше 5000, що дозволяє машині опрацьовувати детальні характеристики кожного класу (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Зображення з колекції MS COCO Dataset

Places2 – це ще один набір даних, випущений MIT, він містить понад 10 мільйонів зображень та понад 400 сцен. Він був використаний як набір даних масштабного завдання візуального розпізнавання ImageNet (ILSVRC 2015 та ILSVRC 2016) для завдання класифікації сцен та аналізу сцен (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Зображення колекції Places2

При реалізації комп'ютеризованої системи розпізнавання образів доцільним є використання наведених наборів даних, що дозволить забезпечити виявлення об'єктів у різних предметних областях.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ТА АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Проектування архітектури комп'ютеризованої системи розпізнавання образів

Архітектуру комп'ютеризованої системи розпізнавання образів запропоновано спроектувати, виходячи з технічних характеристик Raspberry PI та вимог, які наведені у технічному завданні (додаток А). Аналіз технічного завдання, проведений у п.1.1, передбачає, що основними структурними компонентами системи є:

- міні-комп'ютер Raspberry PI;
- камера Raspberry PI Camera Module;
- кінцеві пристрої – смартфон або персональний ПК;
- SD-картка.

Міні-комп'ютер Raspberry PI забезпечує управління периферійними пристроями, а також дозволяє з'єднуватись за допомогою вбудованого WiFi модуля з маршрутизатором комп'ютерної мережі. Окрім цього, програмна реалізація моделі розпізнавання образів виконується на даному пристрої, а фізично розташовується на SD-картці.

Камера, підключена до Raspberry PI забезпечує передачу даних з відеопотоку до мікроконтролера, який виконує програму розпізнавання і у результаті одержують новий потік з накладеними рамками на об'єкти і відповідними їхніми підписами.

Кінцеві пристрої, до яких належить персональний ПК або смартфон, призначені для відображення відеопотоку з розпізнаними об'єктами. Комунікація цих пристроїв може відбуватися через мережу локальну

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|--------------------------------------|-------------|----------------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Гузар Д.Р. | | | <i>Побудова моделі розпізнавання образів та архітектури комп'ютеризованої системи</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i> | | Яцишин В.В. | | | | | 25 | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | <i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Луцик Н.С. | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Осухівська Г.М. | | | | | | |

комп'ютерну мережу, або через мережу Інтернет. Запропоновану архітектуру комп'ютеризованої системи розпізнавання образів показано на рис. 2.1.

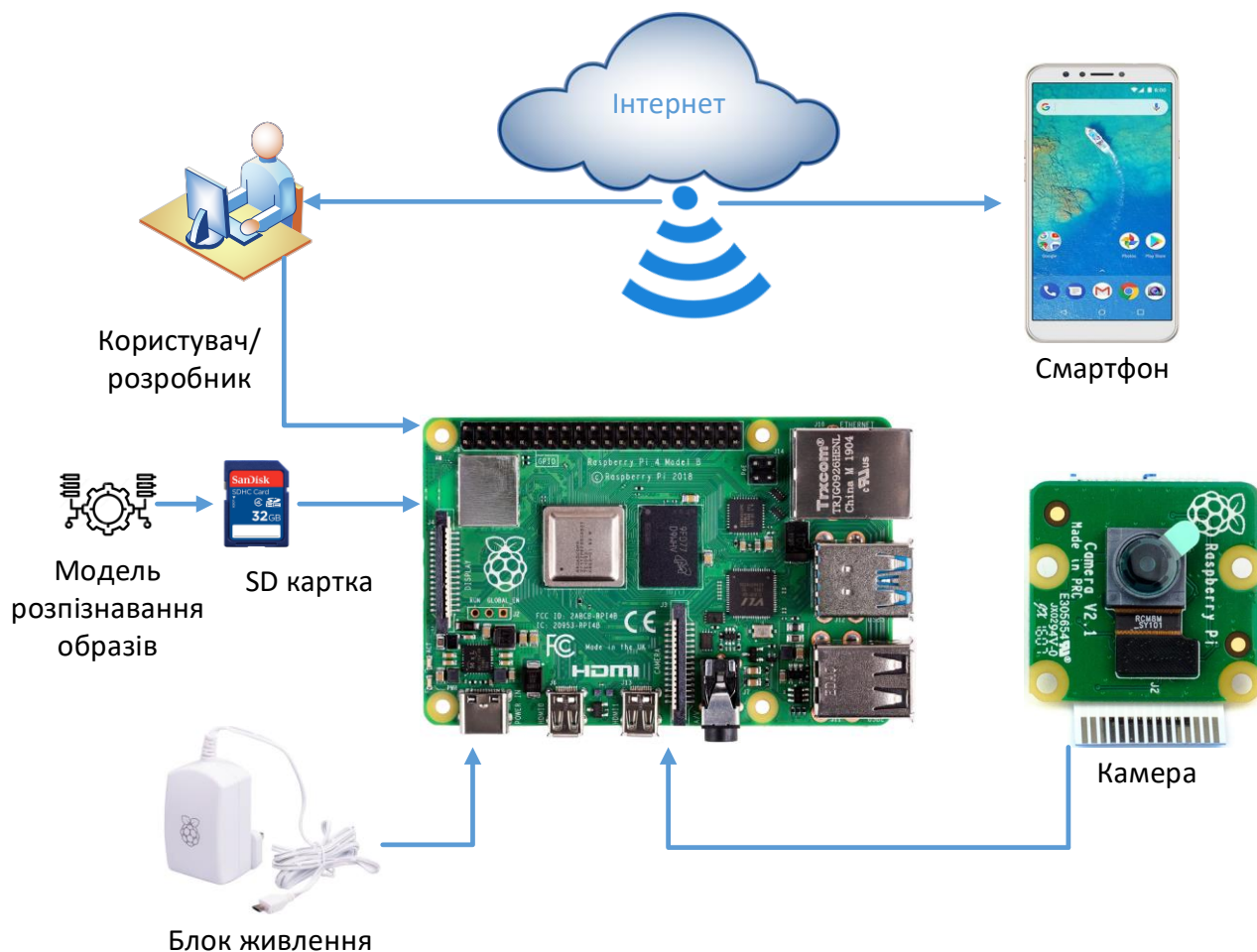


Рисунок 2.1 – Архітектура системи розпізнавання образів на основі Raspberry PI

Для реалізації архітектури комп'ютеризованої системи необхідним є навчання інтелектуальної складової на наборах багатьох об'єктів, які проаналізовані у п. 1.2, обґрунтування вибору бібліотек для реалізації системи, визначення та побудова моделі розпізнавання об'єктів в режимі реального часу.

Однак перед тим, як будувати модель розпізнавання образів, потрібно більш детально дослідити характеристик апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи, зокрема Raspberry PI та відеокамери.

2.2 Функціональні можливості та особливості застосування Raspberry PI

Raspberry PI – третій за продажами комп'ютерний бренд у світі. Реалізація даного міні-комп'ютера виконана за габаритними розмірами, що відповідають звичайній кредитній картці. Raspberry PI можна підключати до телевізора або дисплея, а також клавіатури та миші з USB інтерфейсом. Даний міні-комп'ютер можна використовувати для вивчення програмування та побудови проектів в області електроніки, а також для вирішення задач типового персонального комп'ютера, наприклад, створення електронних таблиць, опрацювання текстової інформації, доступу до мережі Інтернет, розробки ігор. Raspberry PI є ефективним інструментом для відтворення відеозображень.

На рис. 2.2 наведено зовнішній вигляд та компоненти Raspberry PI 4.

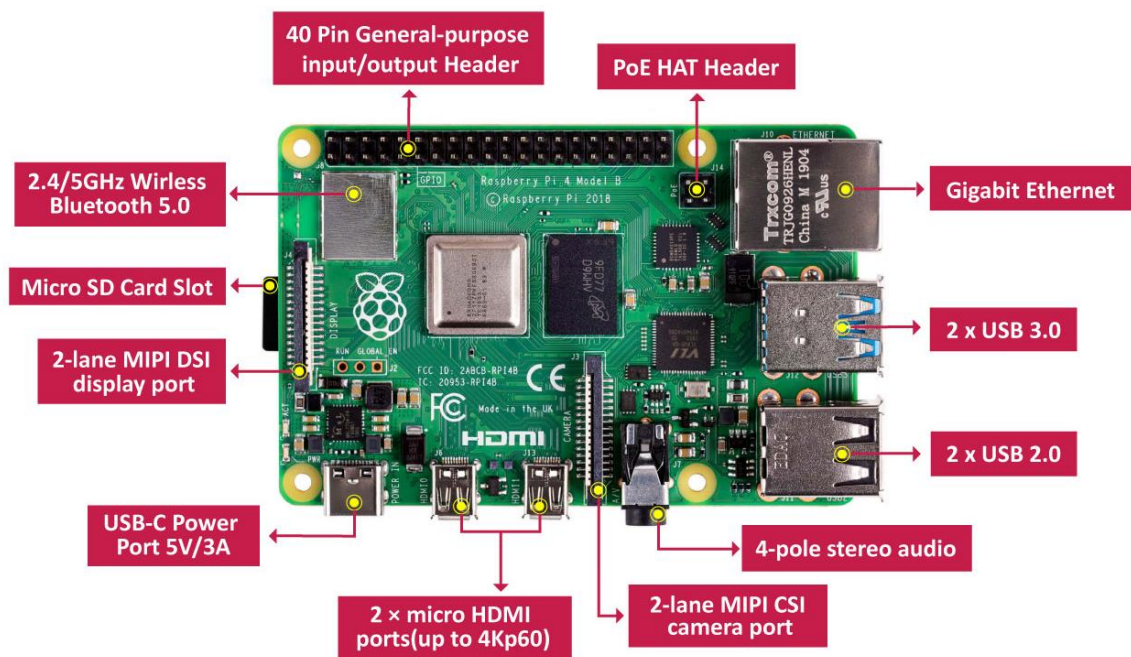


Рисунок 2.2 – Raspberry PI 4

Результати порівняння різних видів Raspberry PI представлено у табл. 2.1. Для проектування комп'ютеризованої системи розпізнавання образів запропоновано скористатись апробованою версією Raspberry PI 3 Model B.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик різних типів Raspberry

PI

| Модель | SoC | Тактова частота, МГц | RAM | Технології Ethernet | Wireless | Blue-tooth |
|-------------------------|---------------|----------------------|-------|---------------------|-------------|------------|
| Raspberry Pi Model A+ | BCM2835 | 700 | 512МБ | - | - | - |
| Raspberry Pi Model B+ | BCM2835 | 700 | 512МБ | 100Base-T | - | - |
| Raspberry Pi 2 Model B | BCM2836/7 | 900 | 1 ГБ | 100Base-T | - | - |
| Raspberry Pi 3 Model B | BCM2837 A0/B0 | 1200 | 1 ГБ | 100Base-T | 802.11n | 4.1 |
| Raspberry Pi 3 Model A+ | BCM2837 B0 | 1400 | 512МБ | - | 802.11 ac/n | 4.2 |
| Raspberry Pi 3 Model B+ | BCM2837 B0 | 1400 | 1 ГБ | 1000Base-T | 802.11 ac/n | 4.2 |
| Raspberry Pi 4 Model B | BCM2711 | 1500 | 2 ГБ | 1000Base-T | 802.11 ac/n | 5.0 |
| Raspberry Pi 4 Model B | BCM2711 | 1500 | 4 ГБ | 1000Base-T | 802.11 ac/n | 5.0 |
| Raspberry Pi 4 Model B | BCM2711 | 1500 | 8 ГБ | 1000Base-T | 802.11 ac/n | 5.0 |
| Raspberry Pi Zero | BCM2835 | 1000 | 512МБ | - | - | No |
| Raspberry Pi Zero W | BCM2835 | 1000 | 512МБ | - | 802.11n | 4.1 |
| Raspberry Pi 400 | BCM2711 | 1800 | 4ГБ | 1000Base-T | 802.11 ac/n | 5.0 |

Арк.

КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ

28

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

GPIO представляє собою інтерфейс, який призначений для забезпечення зв'язку між компонентами міні-комп'ютера. У випадку з Raspberry PI ці виводи необхідні для функціонування основної системи з периферійними компонентами – модулями. Виводи GPIO можуть виконувати 3 функції:

- подача напруги живлення певного номіналу – можна подавати напругу 3,3 В або 5 В у залежності від призначення виводу та з врахуванням типу модуля, який підключається.;
- заземлення – забезпечують безпечне використання пристрою;
- передача сигналів – використовуються для обміну даними між центральною системою і пристроями, які підключаються.

За вхід і вихід інтерфейсу GPIO можуть відповідати одні і ті ж контакти. Принаймні це справедливо для Raspberry PI. Те, як вони повинні функціонувати, визначається на програмному рівні.

Схему і призначення виводів міні-комп'ютера Raspberry PI показано на рис. 2.3.

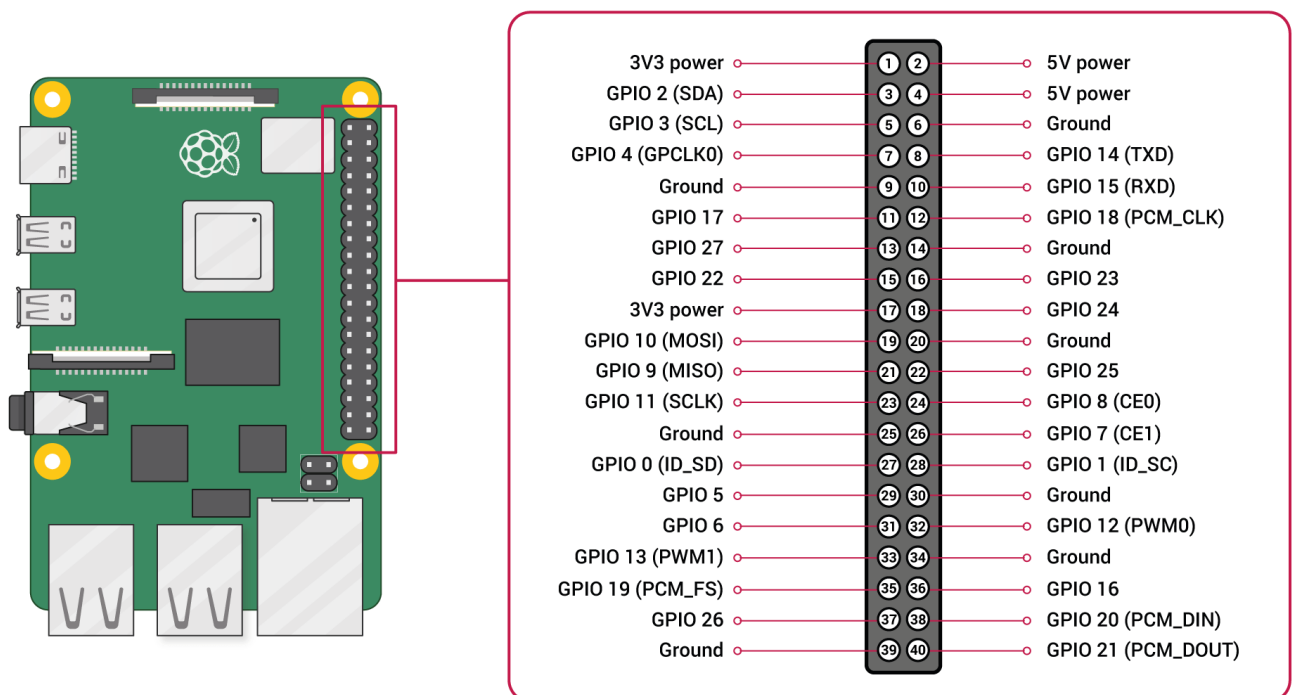


Рисунок 2.3 – Призначення виводів інтерфейсу GPIO

Зовнішні модулі можна підключати до абсолютно будь-яких портів GPIO Raspberry Pi, і вони будуть нормально працювати. Але важливо знати, що в системі є пара контактів, які зарезервовані системою для особливих цілей. Ними є BCM 0 і BCM 1 (їх номери – 27 і 28). Вони призначаються спеціально для встановлення плат розширення. Тому при можливості їх не потрібно використовувати для підключення інших модулів. Ще один важливий момент - обережне використання живлення через GPIO Raspberry Pi 3. Живлення на зовнішні пристрої через міні-комп'ютер може подаватися з силою струму до 50 мА. Більш детальна схема GPIO з можливим використанням виводів показана на рис. 2.4.

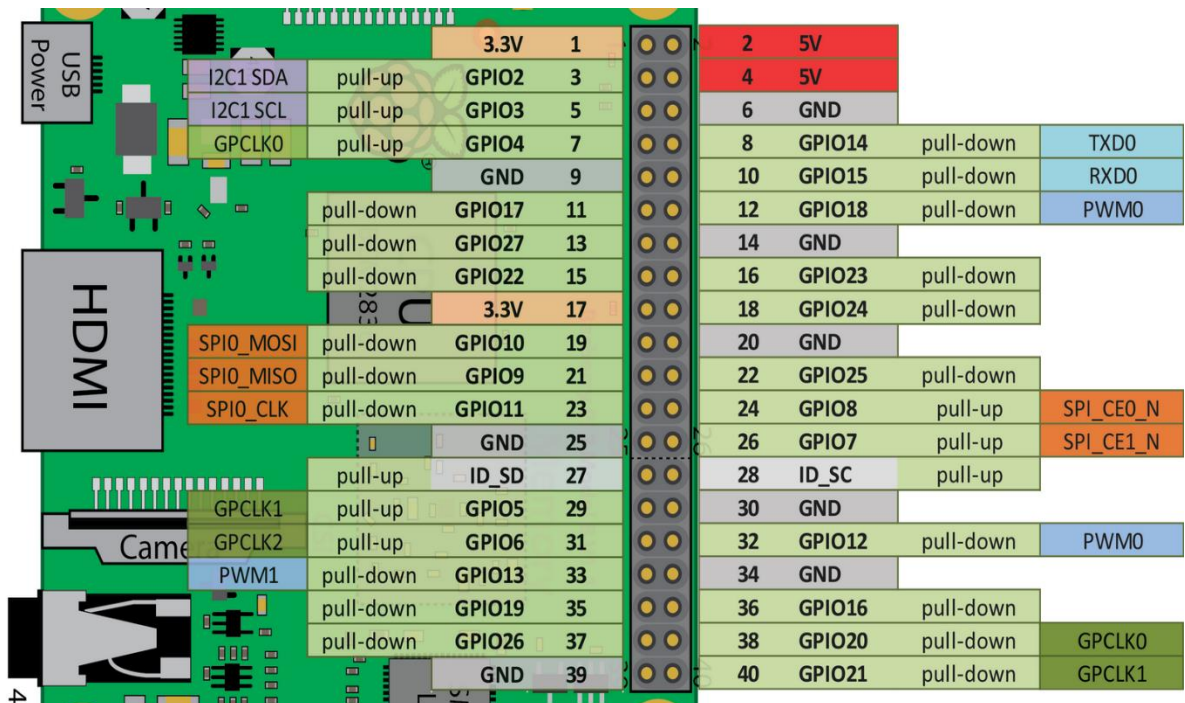


Рисунок 2.4 – Детальна схема та призначення виводів GPIO

Взаємодія з GPIO Raspberry Pi виконується на програмному рівні. Для цього можна використати мову програмування Python і це є оптимальним варіантом, оскільки дана мова програмування є нативною для цього міні-комп'ютера. Однак, крім Python, можна використовувати мови програмування C та C ++, PHP або навіть Basic. Схема електрична принципова GPIO Raspberry Pi показана на рис. 2.5.

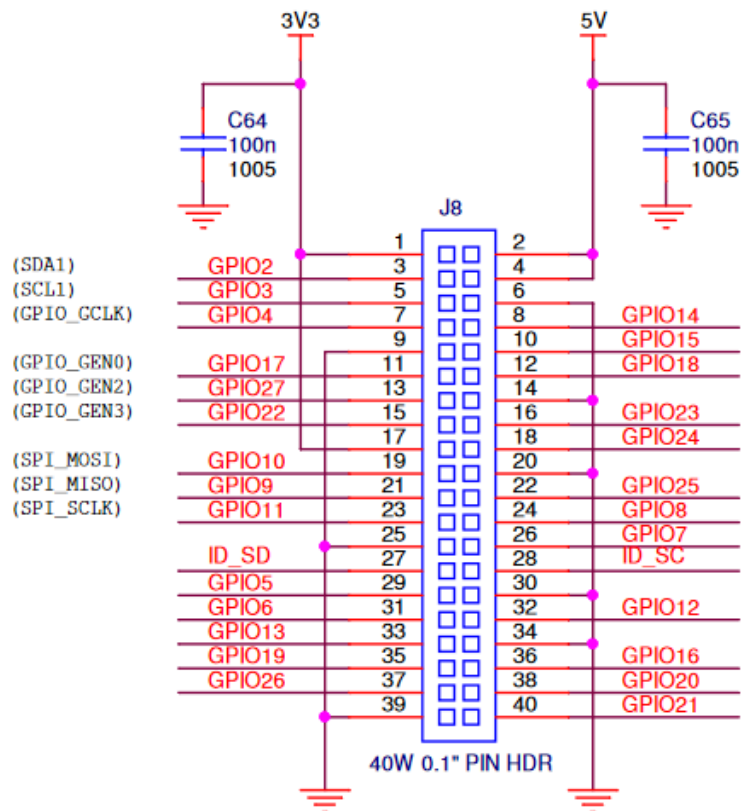


Рисунок 2.5 – Схема електрична принципова GPIO Raspberry PI Model B

До основних технічних характеристик Raspberry PI 3 Model B належать:

- чотириядерний 64-бітний процесор Broadcom BCM2837 на базі ARMv7 Quad Core Processor вбудований в однокристальний Single Board Computer, що працює з частотою 1.2GHz
- оперативна пам'ять – 1GB RAM;
- вбудований WiFi модуль BCM 43143;
- вбудований Bluetooth Low Energy;
- інтерфейс GPIO з 40 виводами;
- 4xUSB 2.0 порти;
- аудіо вихід і композитний відеопорт (CVP);
- HDMI порт (Full size) – для підключення монітора або дисплея;
- порт CSI – для під'єднання Raspberry Pi камери;
- DSI порт – для підключення сенсорного дисплею;
- Micro SD порт – для інсталяції операційної системи і зберігання даних;
- оновлений блок живлення Micro USB з підтримкою 2,4 Amps.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ

Арк.

31

2.3 Raspberry Pi Camera Module та пристрої виводу відео зображення

Raspberry Pi Camera Module v2 представляє собою високоякісний 8-ми мегапіксельний давач зображення Sony IMX219, що характеризується фіксованим фокусом і розроблений спеціально для міні-комп'ютера Raspberry Pi.

Sony IMX219 забезпечує одержання зображення з роздільною здатністю 3280*2464 пікселів, а для відео – 1080 p30, 720 p60 і 640x480 p60/90. Даний модуль підключається до плати завдяки невеликому роз'єму у верхній частині плати і використовує особливий CSI інтерфейс, спроектований спеціально для роботи з камерами. Розташування інтерфейсу показано на рис. 2.6, а схема електрична принципова даного давача наведена на рис. 2.7.



Рисунок 2.6 – Порт CSI

Сам датчик невеликий, всього 25mm x 23mm x 9mm. Його вага становить близько 3 г, що ідеально підходить для мобільних або інших невеликих додатків, де важлива вага і розмір. Для підключення до плати Raspberry Pi використовується короткий стрічковий кабель.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |

Все програмне забезпечення підтримується в останній версії Raspbian Operating System Застосування: кабельна камера відеоспостереження, виявлення руху, покадрові фотографії

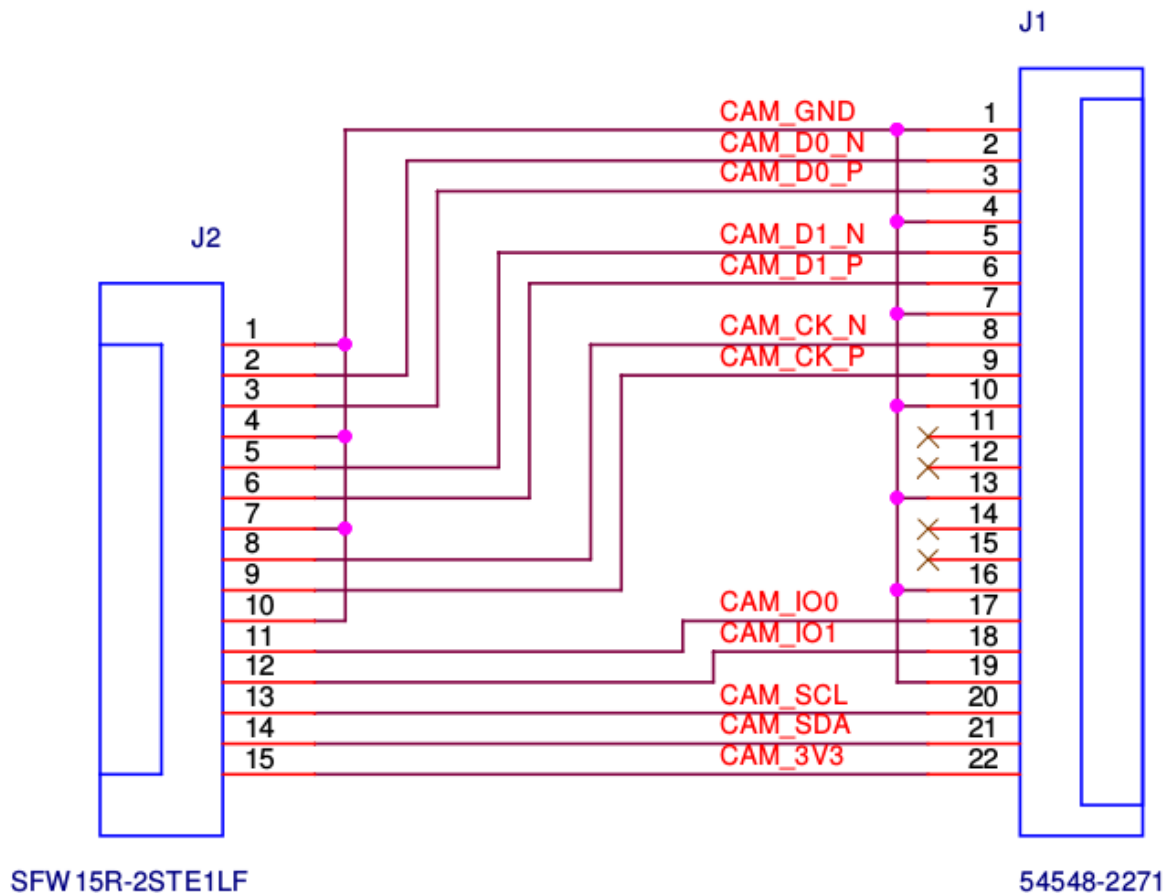


Рисунок 2.7 – Схема електрична принципова Raspberry PI Camera Module

CAM1_CN і CAM1_CP забезпечують тактовий імпульс для смуг даних MIPI першої камери. Вони підключаються до контактів MIPI Clock Positive (MCP) і MIPI Clock (MCN) ICC камери. Ці тактові сигнали зазвичай надходять від модуля камери, що генерується схемою MIPI.

CAM1_DN0 і CAM1_DP0 виводи даних MIPI Data Positive (MDPI) і MIPI Data negative (MDN) для смуги даних 0 камери 1.

CAM1_DN1 і CAM1_DP1 виводи даних MIPI Data Positive (MDPI) і MIPI Data negative (MDN) для смуги даних 1 камери 1.

SCL0 і SDA0 утворюють меншу послідовну шина, що складається з контактів SCL і SDA, забезпечує послідовний зв'язок, який дозволяє

користувачеві управляти функціями камери, такими як вибір дозволів. Ці контакти підключаються безпосередньо до веденого інтерфейсу SCCB всередині ІС камери. Вивід SCL забезпечує стандартний вхідний тактовий сигнал послідовного інтерфейсу і стандартний послідовний інтерфейс SDA для введення/виведення даних. Детальний опис виводів і їх взаємодії наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Виводи порту CSI

| № виводу | Назва | Опис |
|----------|----------|----------------------|
| 1 | Ground | Ground |
| 2 | CAM1_DN0 | Data Lane 0 |
| 3 | CAM1_DP0 | |
| 4 | Ground | Ground |
| 5 | CAM1_DN1 | Data Lane 1 |
| 6 | CAM1_DP1 | |
| 7 | Ground | Ground |
| 8 | CAM1_CN | MIPI Clock |
| 9 | CAM1_CP | |
| 10 | Ground | Ground |
| 11 | CAM_GPIO | |
| 12 | CAM_CLK | |
| 13 | SCL0 | I ² C Bus |
| 14 | SDA0 | |
| 15 | +3.3 V | Power Supply |

Display Serial Interface (DSI) - специфікація Mobile Industry Processor Interface (MIPI) Alliance, яка спрямована на зниження витрат на програмну підсистему для мобільних пристроїв. Даний інтерфейс орієнтований на LCD і тому подібні технології дисплея. Специфікація визначає послідовну шину і протокол зв'язку між хостом (джерело зображення) і пристроєм (одержувачем

зображення). На рис. 2.8 наведено схему електричну принципову для під'єднання дисплеїв до Raspberry PI, а у табл. 2.3 – виводи даного інтерфейсу.

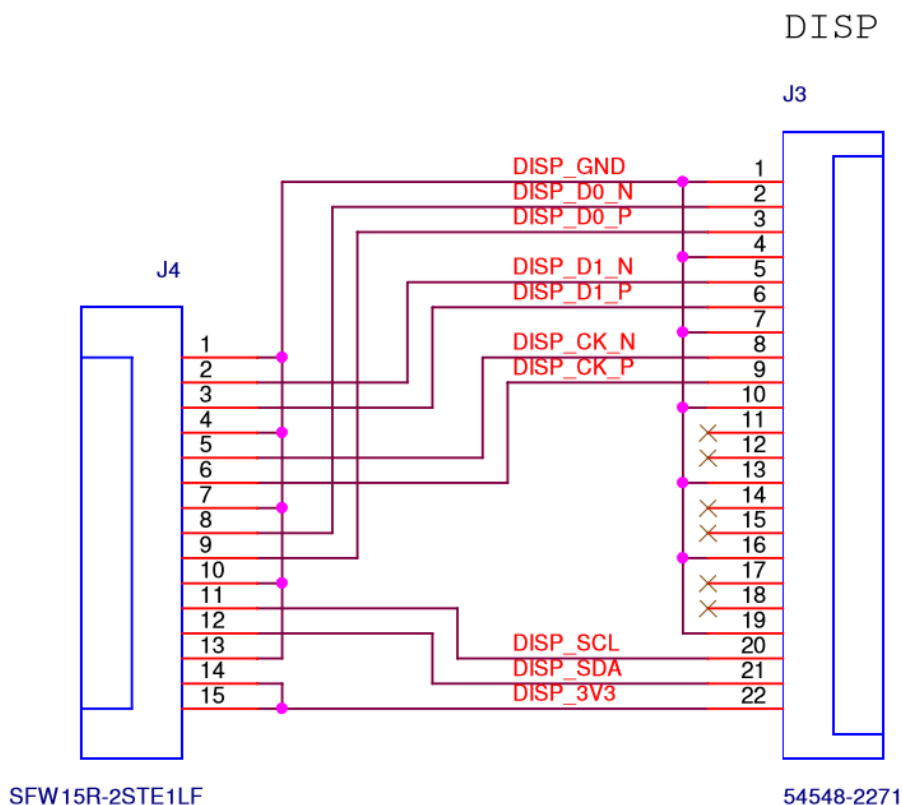


Рисунок 2.8 – Схема електрична принципова DSI

Таблиця 2.3 – Виводи DSI

| № виводу | Призначення |
|----------|-------------|
| 1 | DISP_GND |
| 2 | DISP_D1_N |
| 3 | DISP_D1_P |
| 4 | DISP_GND |
| 5 | DISP_CK_N |
| 6 | DISP_CK_P |
| 7 | DISP_GND |
| 8 | DISP_D0_N |
| 9 | DISP_D0_P |
| 10 | DISP_GND |

| № виводу | Призначення |
|----------|-------------|
| 11 | DISP_SCL |
| 12 | DISP_SDA |
| 13 | DISP_GND |
| 14 | DISP_3V3 |
| 15 | DISP_3V3 |

Таким чином, обґрунтовано застосування апаратного забезпечення для реалізації комп'ютеризованої системи розпізнавання образів та встановлено, що характеристики цих пристроїв цілком задовольняють вимоги, визначені у технічному завданні.

2.4 Обґрунтування топології нейронної мережі та побудова моделі розпізнавання образів

За останні кілька років в IT-індустрії спостерігається значний попит на впровадження і дослідження технологій глибокого навчання, що є підмножина машинного навчання. Deep Learning орієнтований на побудову алгоритмів, здатних емулювати роботу людського мозку на основі нейронних мереж.

Для глибокого навчання існує кілька типів моделей, таких як штучні нейронні мережі (ANN), автоенкодера, нейронні мережі зі зворотнім зв'язком (Recurrent Neural Network) та навчання з підкріпленням. Для аналізу відеозображень, зокрема виявлення та аналізу об'єктів широко використовується модель комп'ютерного зору на основі згорткових нейронних мереж (Convolution Neural Networks). Згорткові нейронні мережі є класом глибоких нейронних мереж, які можуть розпізнавати та класифікувати певні особливості зображень і широко використовуються для аналізу візуальних образів. Їх застосування варіюється від розпізнавання зображень та відео, класифікації зображень, аналізу медичних зображень, комп'ютерного зору та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

обробки природної мови. Термін "згортка" в CNN позначає математичну функцію згортки, яка є особливим видом лінійної операції, коли дві функції множаться, утворюючи третю функцію, яка виражається, як форма однієї функції змінюється іншою. Простіше кажучи, два зображення, які можна представити у вигляді матриць, множаться, щоб отримати вихідний результат, який використовується для визначення обрисів із зображення.

Архітектурно згортковій нейронній мережі складаються з двох частин:

- компонент згортки, який дає змогу ідентифікувати різні особливості зображення в процесі його аналізу, що називається «features extraction»;
- повнозв'язний шар, який використовує результуючі дані процесу згортки та прогнозує клас зображення на основі особливостей, виявлених на попередніх етапах.

На рис. 2.9 показано архітектуру типової згорткової нейронної мережі.

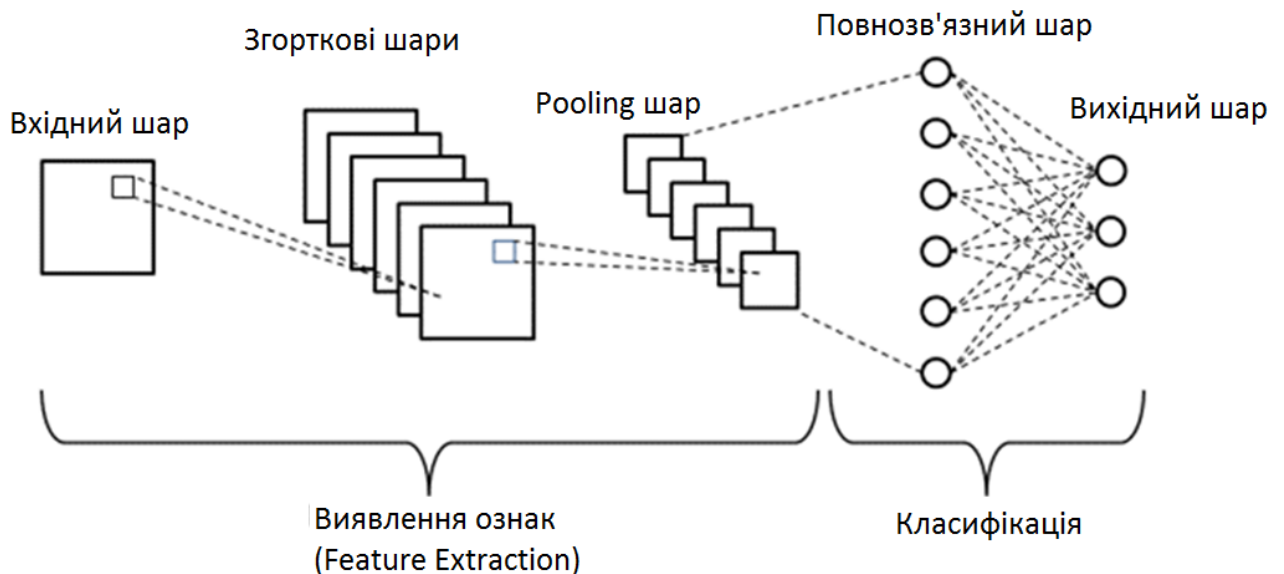


Рисунок 2.9 – Типова структура згорткової нейронної мережі

Існує три типи шарів, що формують CNN:

- згорткові шари (Convolutional layers);
- Pooling шари (Max Pooling, Average Pooling layers);
- повнозв'язні шари (Fully connected layers).

Комбінація цих шарів формує архітектуру згорткової нейронної мережі. Крім цього, до складу такого класу нейромереж входять функції активації і dropout шар.

Згорковий шар використовується для добування різних властивостей із вхідних зображень. У цьому шарі математична операція згортки виконується між вхідним зображенням і фільтром певного розміру $n \times n$. Рухаючись фільтром по вхідному зображенню, одержують пікселі зображення, які попали у фільтр. На виході цього шару одержують карту ознак об'єктів, яка дає інформацію про зображення, наприклад, кути та краї. Пізніше ця карта ознак подається до інших шарів для знаходження інших властивостей вхідного зображення.

У більшості випадків за згортковим шаром слідує шар стиснення – Pooling. Основна мета цього шару – зменшити розмір одержаної карти ознак, щоб знизити обчислювальні ресурси. Це забезпечується за рахунок зменшення зв'язків між шарами, що працює незалежно на кожній карті ознак. В залежності від використовуваного методу, існує кілька видів операцій Pooling. У Max Pooling береться значення найбільшого елемента з карти. Average Pooling обчислює середнє значення елементів у визначеному розмірі фільтра. Загальна сума значень елементів обчислюється за допомогою об'єднання сум. Pooling шар використовується як міст між згортковим шаром і повнозв'язним шаром.

До складу повнозв'язного шару входять ваг нейронів і помилки, що використовуються для з'єднання нейронів між двома різними шарами. Ці шари зазвичай розташовують перед вихідним шаром і утворюють кілька останніх шарів архітектури CNN. При цьому вхідне зображення з попередніх шарів згладжується і подається на повнозв'язний шар. Потім цей вектор проходить ще кілька шарів FC, де зазвичай виконується математичні операції. З даного етапу починається процес класифікації.

Зазвичай, коли всі функції підключені до рівня FC, це може спричинити перенавчання системи. Перенавчання відбувається, коли конкретна модель працює дуже добре на навчальній вибірці і негативно впливає на ефективність застосування моделі на нових даних. Для подолання цієї проблеми використовується шар відсіву (Dropout layer), при якому кілька нейронів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

випадають з нейронної мережі під час тренувального процесу, що призводить до зменшення розміру моделі. При цьому при навчанні до 30% вузлів випадково випадають з нейронної мережі.

Нарешті, одним з найважливіших параметрів моделі CNN є функція активації. Вони використовуються для вивчення та апроксимації будь-якого виду постійних та складних взаємозв'язків між змінними мережі. Простими словами, він вирішує, яка інформація моделі повинна запускатись у прямому напрямку. Це додає нелінійності мережі. Існує кілька загальноживаних функцій активації, таких як ReLU, Softmax, tanH та Sigmoid. Кожна з цих функцій має певне використання. Для двійкової класифікаційної моделі CNN сигмоїдні та softmax функції є кращими, а для багатокласової, як правило, використовуються softmax.

Single Shot MultiBox Detector одна з перших спроб використання пірамідальної ієрархії функцій згорткової нейронної мережі для ефективного виявлення об'єктів різного розміру. Піраміда зображень SSD використовує модель VGG-16, попередньо навчену ImageNet, як базову модель для добування корисних функцій зображення. На додаток до VGG16, SSD додає декілька шарів, що містять особливі можливості зменшення розмірів. Їх можна розглядати як пірамідальне представлення зображень у різних масштабах. Інтуїтивно великі дрібнозернисті карти об'єктів на більш ранніх рівнях добре фіксують дрібні образи, а маленькі грубозернисті карти об'єктів можуть добре виявляти великі об'єкти. У SSD виявлення відбувається в кожному пірамідальному шарі, оперуючи з об'єктами різного розміру. Графічне представлення архітектури цієї нейронної мережі показано на рис. 2.10.

На відміну від YOLO, SSD не розподіляє зображення на сітці довільного розміру, але прогнозує зміщення заздалегідь визначених опорних полів для кожного розташування карти ознак. Кожне поле має фіксований розмір і розташування відносно відповідної комірки. Усі опорні поля складають повністю карту ознак у згортковому порядку. Карти ознак на різних рівнях мають різний розмір опорного поля, які на різних рівнях масштабуються так, що одна карта ознак відповідає лише за об'єкти в одному конкретному масштабі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

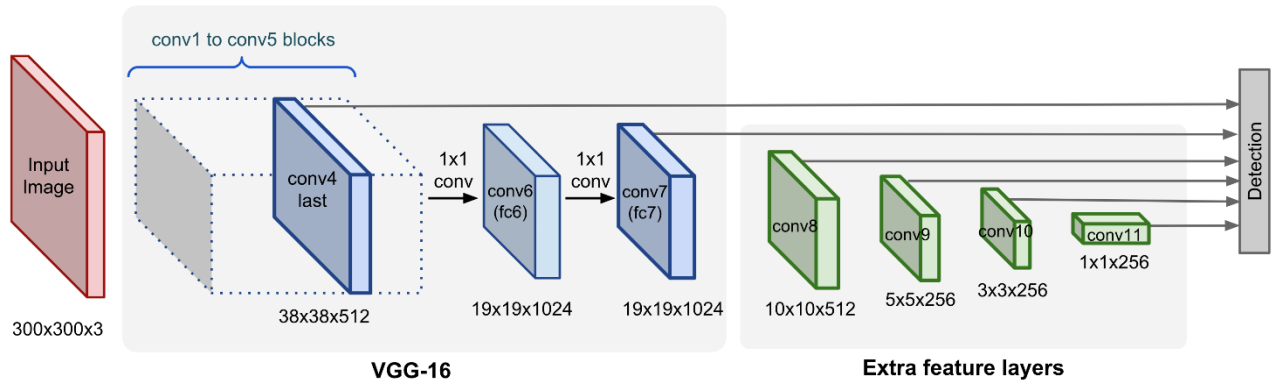


Рисунок 2.10 – Архітектура нейромережі Single Shot MultiBox Detector

Наприклад, на рис. 2.11 собаку можна виявити лише на карті ознак 4x4 (вищий рівень), тоді як кішку просто захопленням карти ознак 8x8 (нижній рівень).

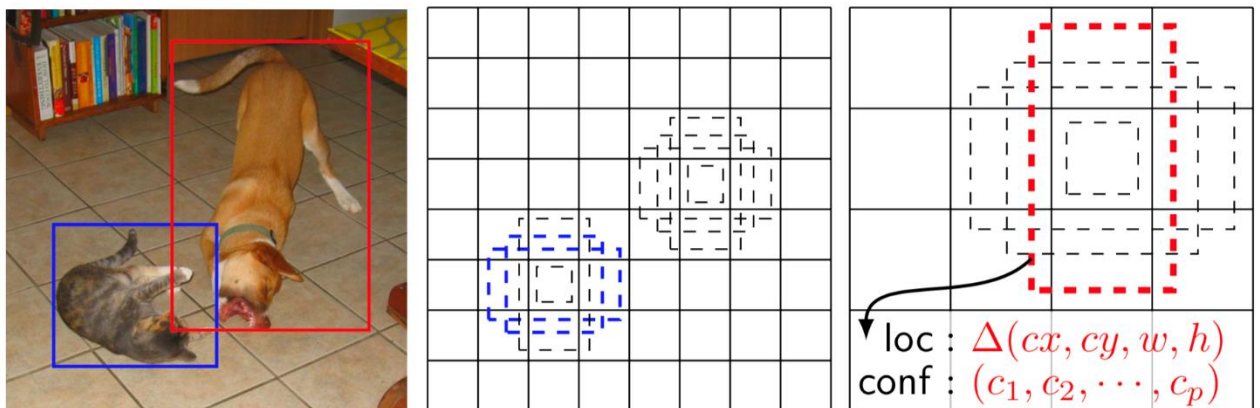


Рисунок 2.11 – Виявлення образів на зображенні

- а) зображення з накладеними рамками, б) карта ознак 8*8,
в) карта ознак 4*4

Ширина, висота і центральне розташування опорного поля нормуються в інтервалі (0, 1). У розташуванні (i, j) шару ознак розміром $m \times n$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$ одержують унікальний лінійний масштаб, пропорційний рівню шару і 5 різних співвідношень сторін поля (співвідношення ширини до висоти), на додаток до спеціального масштабу, коли співвідношення сторін дорівнює 1. Це дає 6 опорних полів загалом для кожної комірки.

VGG16 – це модель згорткової нейронної мережі, запропонована К. Сімоньяном та А. Ціссерманом з Оксфордського університету. Модель досягає 92,7% точності 5 найкращих тестів в ImageNet, що є набором даних із понад 14 мільйонів зображень, що належать до 1000 класів. Це була одна з відомих моделей, представлених на ILSVRC-2014. На відміну від AlexNet, VGG16 заміняє великі фільтри розміром ядра (11 і 5 у першому та другому згортковому шарі відповідно) кількома фільтрами розміром 3×3 один за одним. Навчання моделі мережі VGG16 тривало тижнями, при цьому використовувався графічний процесор NVIDIA Titan Black. Архітектура VGG-16 наведена на рис. 2.12 і є ефективним компонентом при побудові комп'ютеризованих систем розпізнавання образів.

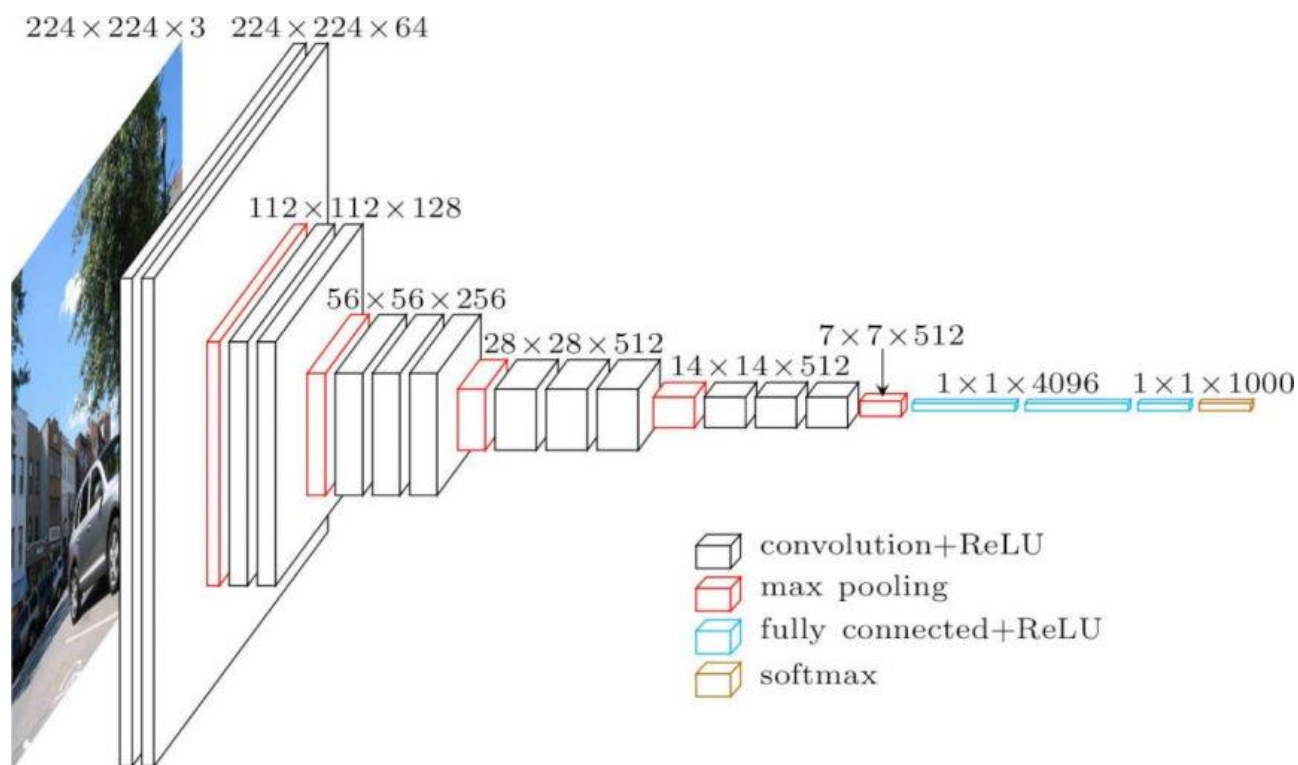


Рисунок 2.12 – Архітектура нейромережі VGG-16

Вхідні дані для першого згорткового шару мають фіксований розмір зображення 224×224 RGB. Зображення передається через множину згорткових шарів з фільтром 3×3 (що є найменшим розміром для охоплення поняття ліворуч / праворуч, вгору / вниз, центр). В одній з конфігурацій він також використовує

згорткові фільтри 1×1 , що можна розглядати як лінійне перетворення вхідних каналів (за яким слідує нелінійність).

Швидкість згортки зафіксована на рівні 1 пікселя; просторове заповнення згорткового шару таке, що просторова роздільна здатність зберігається після згортки, тобто ітерація становить 1 піксель для 3×3 фільтра. Просторове об'єднання здійснюється за допомогою п'яти шарів стиснення, які слідують за деякими згортковими шарами (не за всіма шарами виконується Max Pooling). Max Pooling шари виконується у вікні 2×2 пікселя з кроком 2. Три повнозв'язні шари слідують за набором згорткових шарів (який має різну глибину в різних архітектурах): перші два мають по 4096 каналів, третій виконує класифікацію 1000 ILSVRC і, таким чином, містить 1000 каналів (по одному на кожен клас). Кінцевим шаром є шар soft-max. Конфігурація повністю підключених шарів однакова у всіх мережах. На рис. 2.13 показано послідовність і структуру VGG-15 шарів згорткової нейронної мережі.

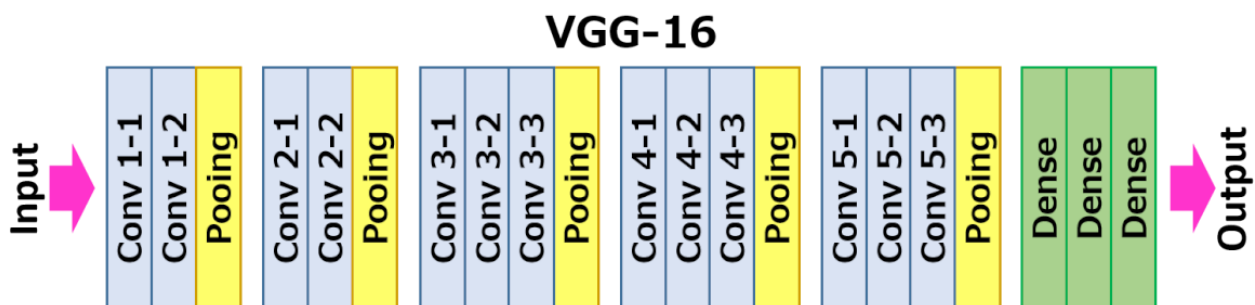


Рисунок 2.13 – Структура шарів і їх послідовності у VGG-16

На жаль, у VGGNet є два основних недоліки:

- повільний і тривалий час навчання;
- розмір архітектури досить великий (щодо дискового простору / пропускної здатності).

Завдяки своїй глибині та кількості повнозв'язних вузлів VGG16 перевищує розмір у 533 МБ. VGG16 використовується для вирішення багатьох проблем класифікації зображень на основі глибокого навчання; однак менші мережеві архітектури часто є більш оптимальним вибором (наприклад, SqueezeNet,

GoogLeNet тощо). Однак для реалізації прикладних задач можна використовувати мобільні версії реалізації цієї архітектури, зокрема PyTorch, TensorFlow, Keras та OpenCV.

Для реалізації комп'ютеризованої системи розпізнавання образів пропонується використати попередньо навчені нейронні мережі VGG-16, які підтримуються бібліотеками TensorFlow та OpenCV.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

РОЗДІЛ 3 НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ RASPBERRY PI ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

3.1 Інсталяція Raspberry Pi OS

Для встановлення операційної системи Raspberry Pi OS (Raspbian) необхідна SD-карта, на якій ще не інстальовано операційної системи. Інсталяція операційної системи відбувається безпосередньо на персональному комп'ютері або ноутбучі за допомогою утиліти Imager Raspberry Pi. Дану утиліту можна завантажити з офіційного сайту (рис. 3.1), обравши операційну систему з якої буде відбуватись інсталяція Raspberry Pi OS.

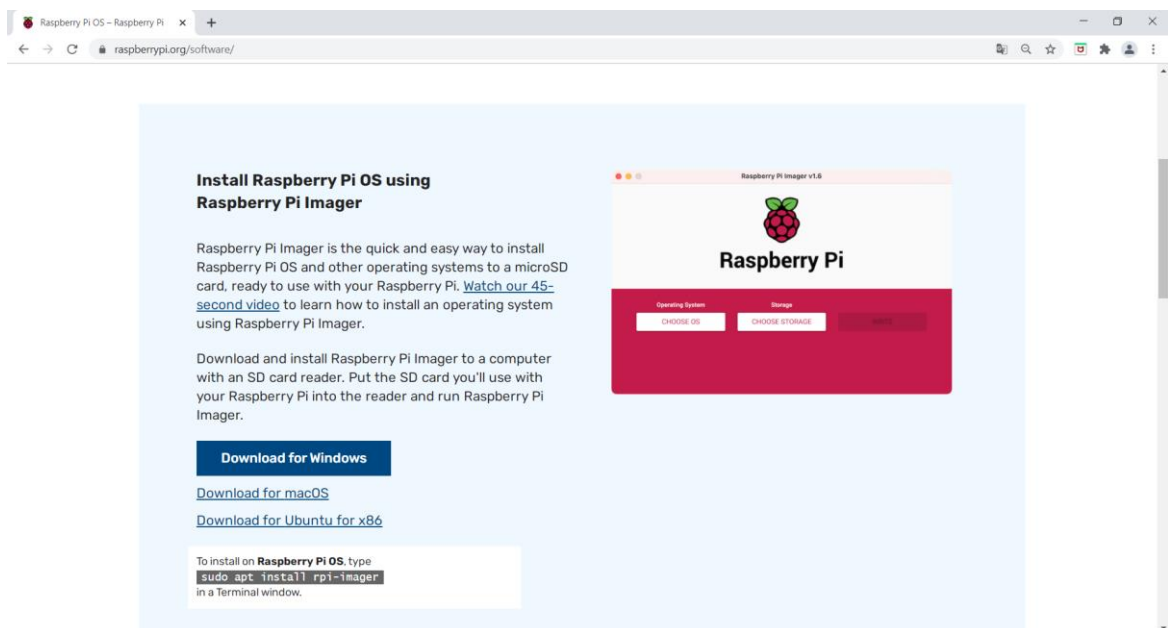


Рисунок 3.1 – Завантаження утиліти Imager Raspberry Pi

Інсталивавши утиліту Imager Raspberry Pi і запустивши її відкривається вікно, як показано на рис. 3.2.

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|------|---------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | | Гузар Д.Р. | | | Лім. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | | Яцишин В.В. | | | | 44 | |
| Реценз. | | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44 | | |
| Н. Контр. | | Луцик Н.С. | | | | | |
| Затверд. | | Осухівська Г.М. | | | | | |
| | | | | | Налаштування параметрів Raspberry Pi та реалізація програмного забезпечення розпізнавання образів | | |

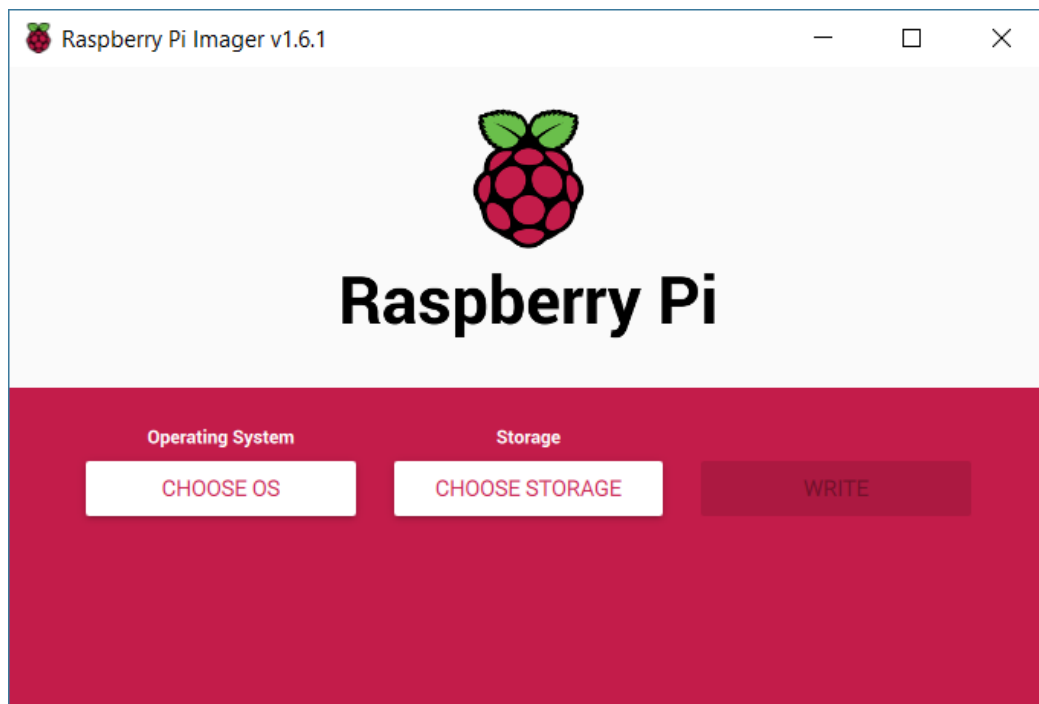


Рисунок 3.2 – Raspberry PI Imager

У вікні (рис. 3.2) можна виконати налаштування щодо вибору типу операційної системи та місця зберігання, а після цього записати образ операційної системи, як показано на рис. 3.3.

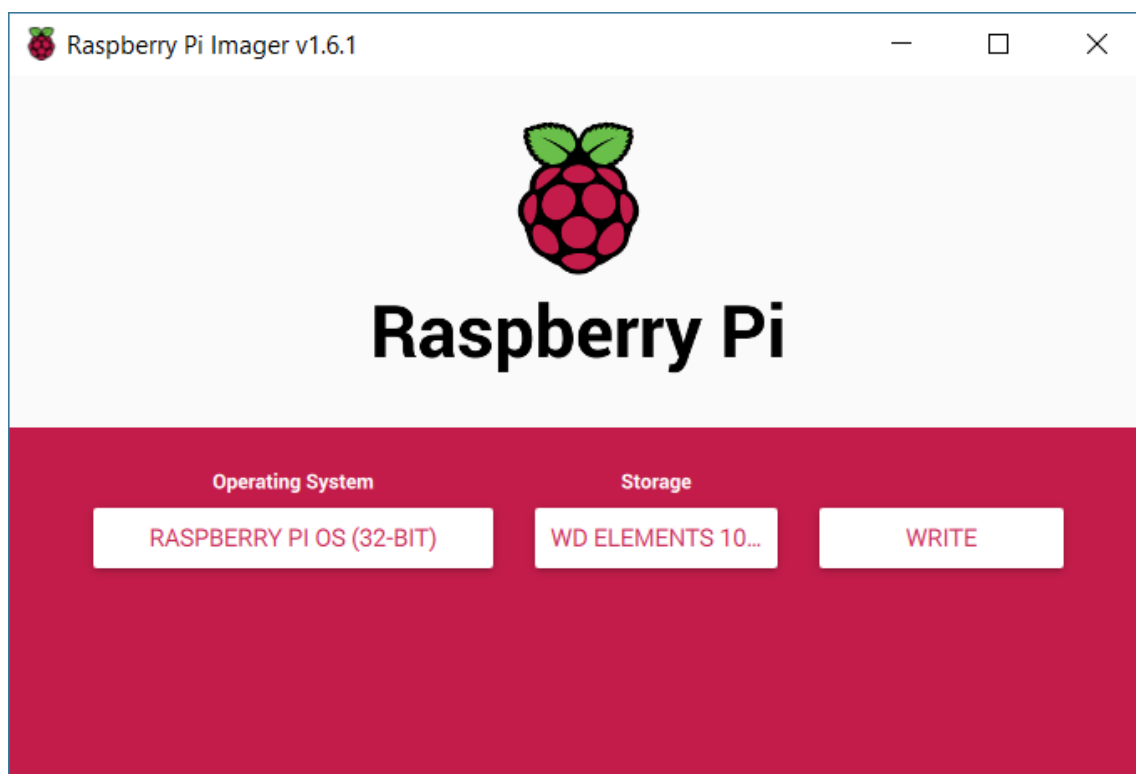


Рисунок 3.3 – Налаштовані параметри для інсталяції Raspberry PI OS

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

У випадку успішної інсталяції операційної системи з'являється вікно, що представлено на рис. 3.4.

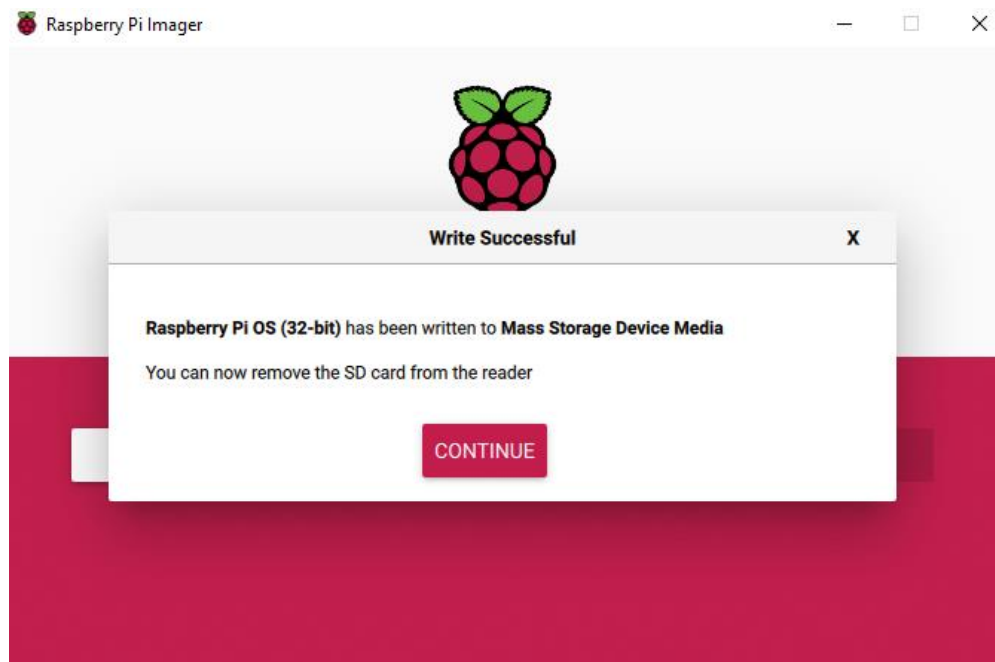


Рисунок 3.4 – Повідомлення про успішну інсталяцію Raspberry PI OS

Далі необхідно підключити SD-картку, мишу, клавіатуру, камеру та монітор до портів, як показано на рис. 3.5.

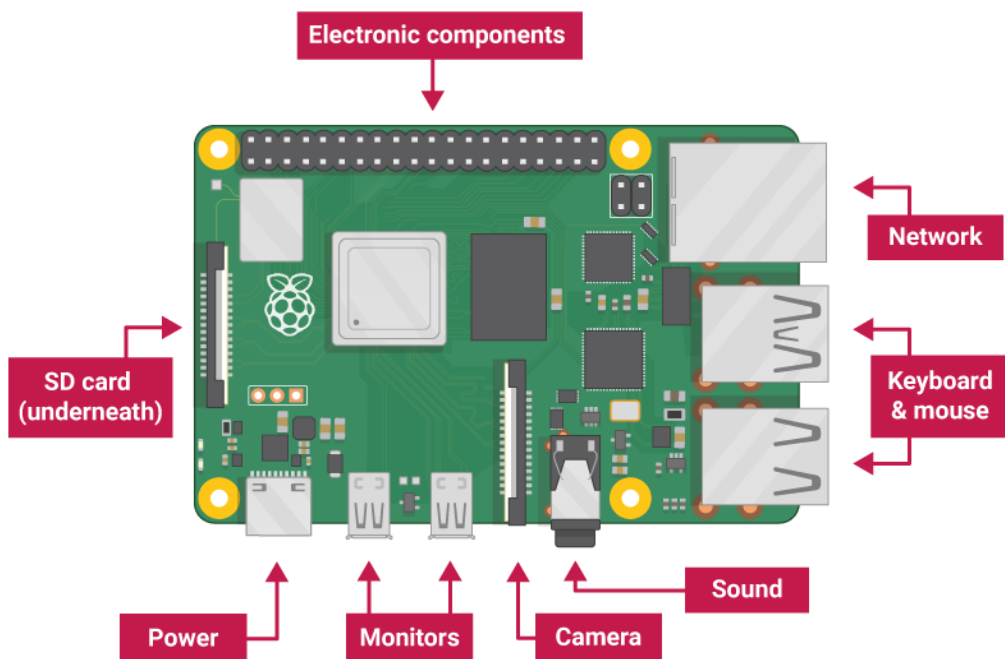


Рисунок 3.5 – Підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry PI

Підключивши живлення до Raspberry PI загориться червоний світлодіод, що вказує на те, що міні-комп'ютер підключений до електромережі. Завантаження операційної системи сигналізується появою у верхньому лівому куті екрану зображення, яке показано на рис. 3.6.

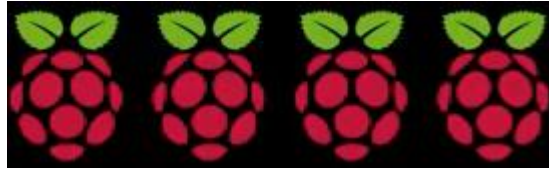


Рисунок 3.6 – Процес завантаження Raspberry PI OS

Після успішного завантаження на екрані підключеного монітора з'явиться робочий стіл операційної системи, як показано на рис. 3.7.

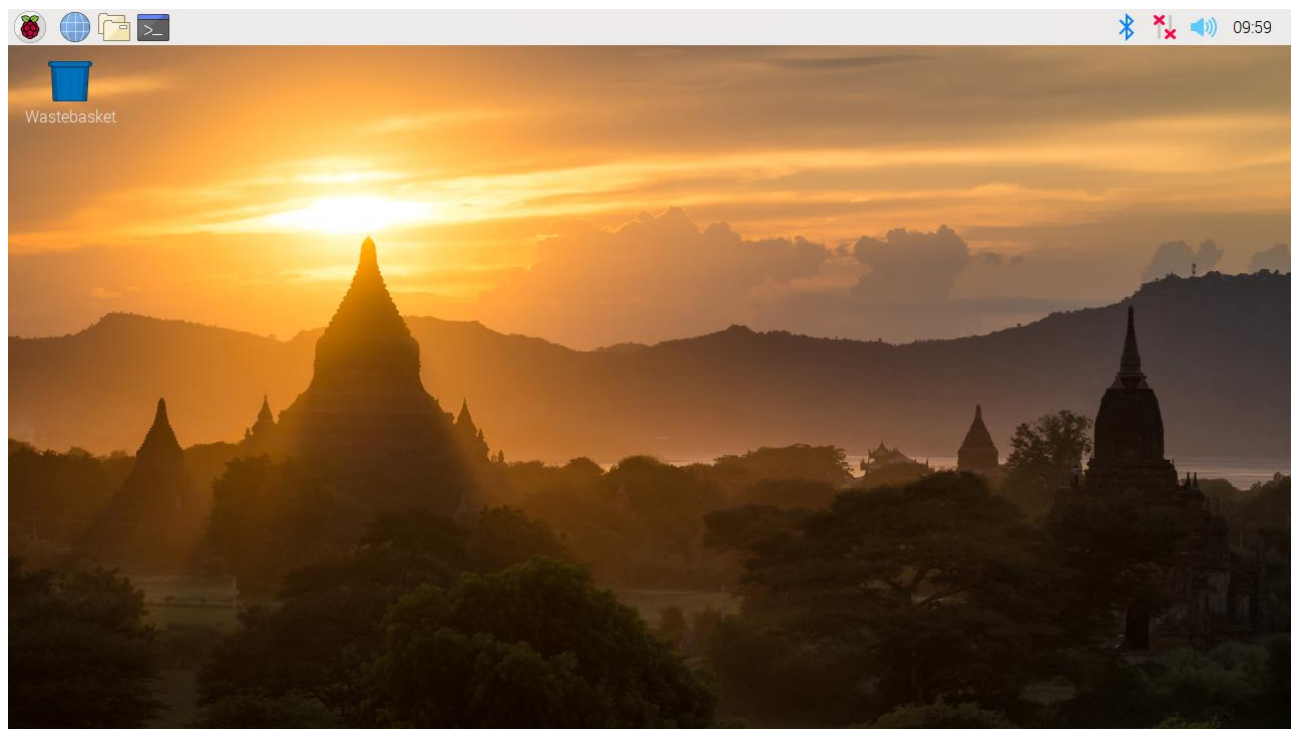


Рисунок 3.7 – Успішне завантаження Raspberry PI OS

Для завершення інсталяції необхідно вказати параметри налаштування, зокрема:

- інформація про локалізацію (рис. 3.9);
- дані авторизованого доступу до Raspberry PI (рис. 3.10);

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

– підключення до WiFi мережі (рис. 3.11).

Послідовність виконання кроків з налаштування міні-комп'ютера наступна: спершу з'являється вікно, як показано на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Стартове вікно налаштування параметрів Raspberry PI

Після натиснення кнопки «Next» з'явиться вікно для встановлення параметрів локалізації, приклад якого продемонстровано на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Налаштування параметрів локалізації

Налаштувавши країну, мову і часовий пояс знову потрібно натиснути кнопку «Next». Після цього з'явиться вікно, як показано на рис. 3.10.

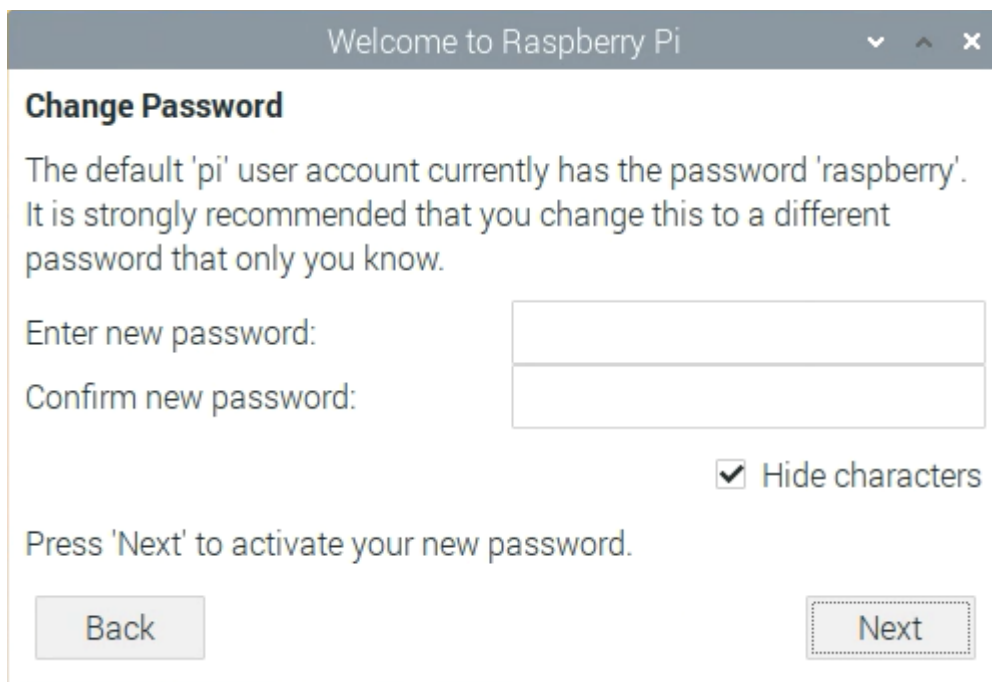


Рисунок 3.10 – Налаштування параметрів доступу до Raspberry PI

Вказавши пароль доступу до Raspberry PI, далі необхідно провести налаштування доступу до доступних WiFi мереж (рис. 3.11).

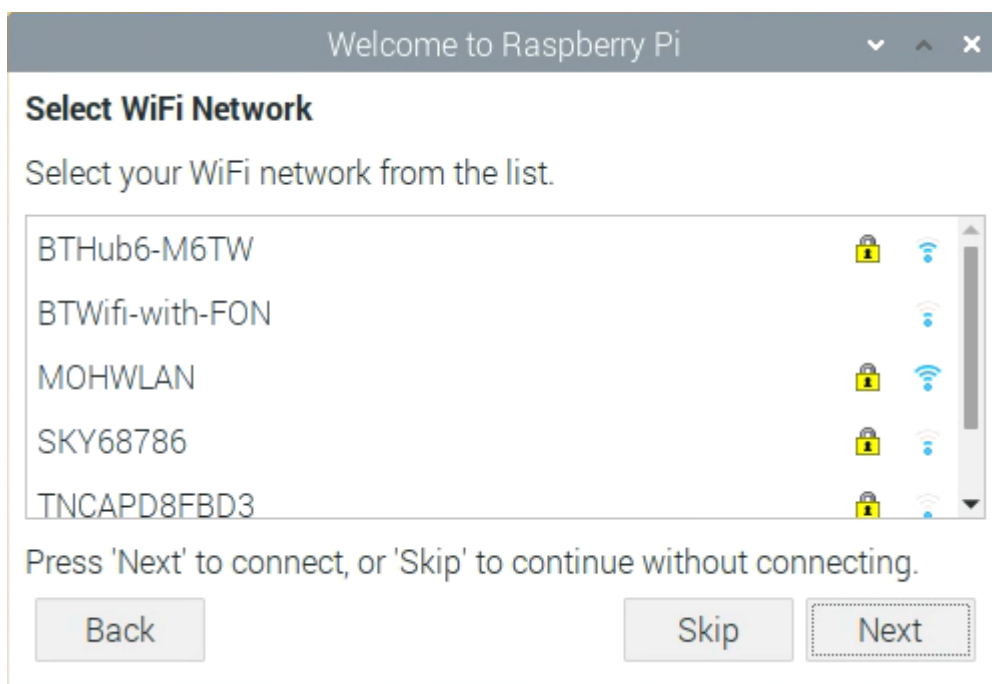


Рисунок 3.11 – Підключення Raspberry PI до WiFi мережі

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Після проведення таких налаштувань виконується аналіз доступних оновлень (рис. 3.12) і здійснюється перезавантаження міні-комп'ютера натисненням кнопки «Restart» (рис. 3.13).

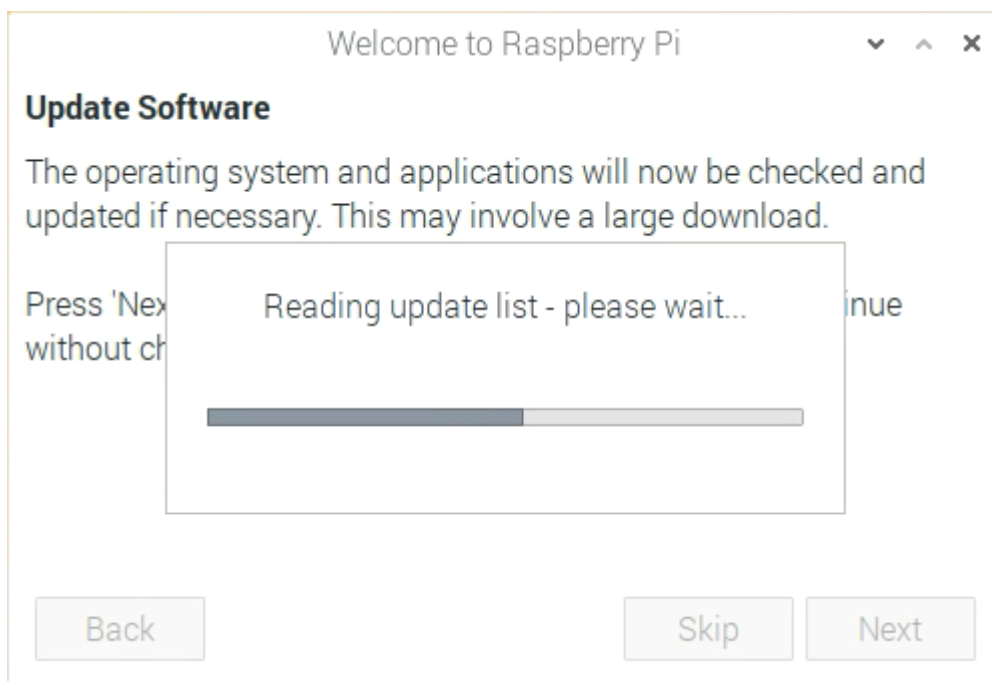


Рисунок 3.12 – Встановлення оновлення



Рисунок 3.13 – Успішне завершення налаштування параметрів Raspberry PI

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ

Наступний крок полягає у встановленні та налаштуванні параметрів відеокамери Raspberry Pi Camera Module.

3.2 Інсталяція програмного забезпечення Raspberry Pi Camera Module

Модуль камери під'єднується до Raspberry Pi за допомогою 15-смугової стрічкової шини. Для приєднання Raspberry Pi Camera Module потрібно повністю вставити шину у гніздо, переконавшись, що вона встановлена прямо, а потім обережно натиснути на язички, щоб зафіксувати його на місці. З'єднувач друкованої плати камери також вимагає відтягнути виступи від плати, обережного вставлення шини, а потім відсунути виступи назад.

Налаштування програмного забезпечення камери передбачає виконання ряду команд у командному рядку, зокрема, завантаження і встановлення останнього оновлення ядра, прошивки GPU та прикладного програмного забезпечення. Для коректного налаштування параметрів камери необхідне з'єднання з мережею Інтернет. На рис. 3.14 показано команди для оновлення ядра операційної системи Raspberry Pi OS.

```
sudo apt update  
sudo apt full-upgrade
```

Рисунок 3.14 – Команди оновлення ядра операційної системи

Далі необхідно увімкнути підтримку камери за допомогою програми raspi-config (рис. 3.15).

```
sudo raspi-config
```

Рисунок 3.15 – Увімкнення підтримки Raspberry Pi Camera Module

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Після запуску команди, наведеної на рис. 3.15, за допомогою клавіш курсору потрібно вибрати і відкрити «Параметри інтерфейсу», а потім – «Камера» і налаштувати параметри її увімкнення.

Після виходу з `raspi-config` необхідно перезавантажити Raspberry Pi. Налаштований параметр увімкнення камери забезпечить функціонування правильної прошивки графічного процесора з драйвером камери, а розділення пам'яті графічного процесора є достатньою, щоб камера могла отримати необхідний об'єм пам'яті для правильної роботи. Щоб перевірити, що система встановлена і працює потрібно виконати команду, що показана на рис. 3.16:

```
raspistill -v -o test.jpg
```

Рисунок 3.16 – Перевірка правильності функціонування камери

У результаті виконання команди (рис. 3.16) на дисплеї повинен відобразитися п'ятисекундний попередній перегляд з камери, а після цього має бути зроблений знімок, що зберігається у файл `test.jpg` з одночасним відображенням різних інформаційних повідомлень.

3.3 Інсталяція бібліотек для реалізації моделі розпізнавання образів

Перед тим, як інтегрувати модель розпізнавання образів, необхідно провести встановлення ряду бібліотек: TensorFlow, OpenCV, ProtoBuf. Для інсталяції TensorFlow через `pip3` необхідно запустити наступну команду:

```
«pip3 install tensorflow».
```

Після цього, з метою забезпечення підтримки залежностей TensorFlow, NumPy та інших встановлюється бібліотека Atlas, шляхом запуску команди:

```
«sudo apt-get install libatlas-base-dev»
```

Далі слід встановити необхідні залежності для встановлення OpenCV на Raspberry Pi. Для цього використовуються команди, як показано на рис. 3.17.

```
sudo apt-get install libhdf5-dev -y
sudo apt-get install libhdf5-serial-dev -y
sudo apt-get install libatlas-base-dev -y
sudo apt-get install libjasper-dev -y
sudo apt-get install libqtgui4 -y
sudo apt-get install libqt4-test -y
```

Рисунок 3.17 – Команди для встановлення залежностей OpenCV

Після цього виконується інсталяція OpenCV шляхом виконання команди:
«*pip3 install opencv-contrib-python==4.1.0.25*».

Ще одним інструментом, який необхідний для побудови комп'ютеризованої системи розпізнавання образів є розробка компанії Google – Protocol buffers (ProtoBuf). Буфери протоколів представляють собою розширюваний механізм для серіалізації структурованих даних, який менший, швидший та простіший за XML. Для його інсталяції використовується команда:

«*sudo apt-get install protobuf-compiler*».

Набір та інсталяція решти необхідних бібліотек показано на рис. 3.18.

```
pip install --user Cython
pip install --user contextlib2
pip install --user pillow
pip install --user lxml
pip install --user matplotlib
```

Рисунок 3.18 – Команди для встановлення інших необхідних бібліотек

Наступний крок полягає у створенні каталогу для збереження моделей TensorFlow і Protobuf під назвою ObjectDetection за допомогою команди:

«*mkdir ObjectDetection*».

Коли каталог створений, у нього необхідно завантажити модель TensorFlow з Github:

```
«git clone https://github.com/tensorflow/models.git».
```

Далі потрібно увійти всередину папки ObjectDetection, а потім у папку research і запустити protoc, використовуючи цю команду (рис. 3.19).

```
cd /home/pi/ObjectDetection/models/research
protoc object_detection/protos/*.proto --python_out=.
```

Рисунок 3.19 – Інсталяція protoc

Тепер, щоб перевірити, чи дійсно спрацювали команди потрібно перейти за шляхом – models> object_detection> protos, і там для кожного прото-файлу повинен бути створений один файл python (рис. 3.20).

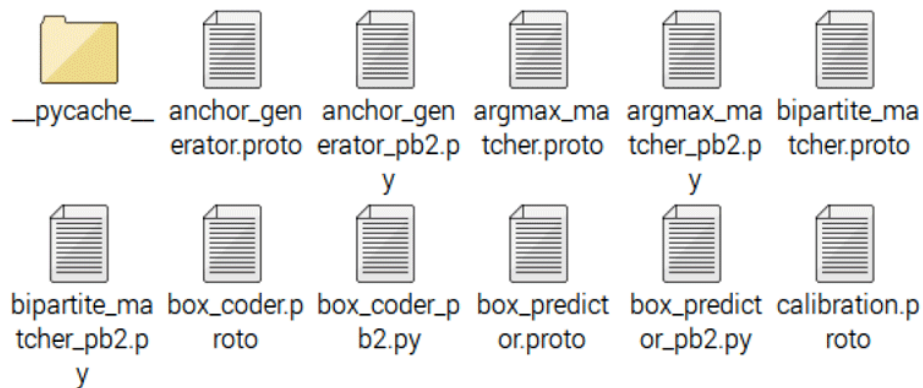


Рисунок 3.20 – Успішне встановлення protoc

Для локального запуску моделей на Raspberry PI до PYTHONPATH слід додати шлях «ObjectDetection/models/research/» і slim каталоги. Це можна зробити, запустивши наступну команду з папки ObjectDetection/models/research:

```
«export PYTHONPATH=$PYTHONPATH:`pwd`:`pwd`/slim».
```

Далі потрібно завантажити модель SSD_Lite із сукупності моделей TensorFlow, що навчена за набором даних COCO. Моделі виявлення та розпізнавання об'єктів Tensorflow надають колекцію попередньо підготовлених наборів даних COCO, колекцію даних Kitti, наборів даних Open Images, множини

даних AVA v2.1 та набору даних виявлення видів тварини iNaturalist. COCO визначає контекст спільних об'єктів і містить близько 330 тис. розмічених зображень.

Наступний крок полягає у встановленні моделі SSD_Lite всередині каталогу `object_detection`, тому спочатку необхідно перейти до каталогу `object_detection`. Далі виконується завантаження та розпаковка моделі SSD_Lite за допомогою команди, як показано на рис. 3.21.

```
wget http://download.tensorflow.org/models/object_detection/ssdlite_mobilenet_v2_coco_2018_05_09.tar.gz
tar -xzf ssdlite_mobilenet_v2_coco_2018_05_09.tar.gz
```

Рисунок 3.21 – Завантаження моделі SSD_Lite

Після встановлення всіх залежностей та моделі SSD_Lite потрібно створити новий файл `python` всередині каталогу `object_detection`:

```
«sudo nano TensorFlow.py»
```

Повний код виявлення та розпізнавання образів за OpenCV і TensorFlow наведено у додатку Б.

3.4 Програмна реалізація і тестування моделі розпізнавання образів

Після того, коли встановлено усі необхідні бібліотеки та відповідні залежності, можна перейти до програмної реалізації моделі розпізнавання образів на Raspberry Pi.

Типова структура програми починається з імпорту необхідних бібліотек, зокрема, основними з них є:

- `cv2`;
- `numpy`;
- `PiCamera`;
- `tensorflow`;
- `label_map_util`;

– visualization_utils.

На рис. 3.22 показано імпорт бібліотек.

```
import os
import cv2
import numpy as np
from picamera.array import PiRGBArray
from picamera import PiCamera
import tensorflow as tf
import argparse
import sys
from utils import label_map_util
from utils import visualization_utils as vis_util
```

Рисунок 3.22 – Імпорт бібліотек для розпізнавання образів

Функція `sys.path` («`sys.path.append('../')`») формує список, який використовується для включення нових шляхів до файлів, які вказуватимуть на модулі, які потрібно імпортувати. Це актуально, оскільки робочим каталогом є папка `object_detection`.

Далі необхідно оголосити каталог і модуль розпізнавання об'єктів, а також шлях до замороженого файлу графічного виявлення `.pb`, який містить модель виявлення образів (рис. 3.23).

```
MODEL_NAME = 'ssdlite_mobilenet_v2_coco_2018_05_09'
PATH_TO_CKPT = os.path.join(CWD_PATH,MODEL_NAME,'frozen_inference_graph.pb')
PATH_TO_LABELS = os.path.join(CWD_PATH,'data','mscoco_label_map.pbtxt')
NUM_CLASSES = 90
```

Рисунок 3.23 – Створення шляхів до моделей розпізнавання образів та кількості класів зображень

Далі потрібно завантажити всі мітки класів, які відображатимуть індекси назв категорій зображень (рис. 3.24.)


```
label_map = label_map_util.load_labelmap(PATH_TO_LABELS)
categories=label_map_util.convert_label_map_to_categories(label_map, max_num_classes=NUM_CLASSES, use_display_name=True)
category_index = label_map_util.create_category_index(categories)
```

Рисунок 3.24 – Завантаження міток класів зображення

Далі виконується завантаження моделі TensorFlow у пам'ять Raspberry PI, що продемонстровано на рис. 3.25.

```
detection_graph = tf.Graph()
with detection_graph.as_default():
    od_graph_def = tf.GraphDef()
    with tf.gfile.GFile(PATH_TO_CKPT, 'rb') as fid:
        serialized_graph = fid.read()
        od_graph_def.ParseFromString(serialized_graph)
        tf.import_graph_def(od_graph_def, name='')
```

Рисунок 3.25 – Завантаження моделі TensorFlow у пам'ять Raspberry PI

Для створення рамки навколо виявленого об'єкта необхідно реалізувати код:

```
detection_boxes =
detection_graph.get_tensor_by_name('detection_boxes:0')
```

Числове значення у відсотках у рамці на зображенні вказує на впевненість при розпізнаванні того чи іншого об'єкту і реалізується наступним кодом:

```
detection_scores =
detection_graph.get_tensor_by_name('detection_scores:0')
```

Оскільки, мета створення комп'ютеризованої системи розпізнавання образів передбачає використання камери і виявлення образів в реальному часу, тому необхідно програмно ініціалізувати об'єкт камери. Для цього реалізовано програмний код, який показано на рис. 3.26. Ініціалізація камери в даному випадку передбачає налаштування параметрів роздільної здатності 640*480 з частотою кадрів 10 кадрів/секунду.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

```

camera = PiCamera()
camera.resolution = (640,480)
camera.framerate = 10
rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(640,480))
rawCapture.truncate(0)

```

Рисунок 3.26 – Ініціалізація об’єкту камери

Після ініціалізації камери, необхідно подати зображення з камери на вхід моделі розпізнавання образів. Програмний код цієї процедури показано на рис. 3.27:

```

(boxes, scores, classes, num) = sess.run(
    [detection_boxes, detection_scores, detection_classes, num_detections],
    feed_dict={image_tensor: frame_expanded})

```

Рисунок 3.27 – Передача зображення з камери на вхід моделі розпізнавання образів

Для візуалізації результатів розпізнавання образів необхідно сформувати рамку навколо об’єкту, мітку класу зображення та відсоток впевненості у процентах (рис. 3.28).

```

vis_util.visualize_boxes_and_labels_on_image_array(
    frame,
    np.squeeze(boxes),
    np.squeeze(classes).astype(np.int32),
    np.squeeze(scores),
    category_index,
    use_normalized_coordinates=True,
    line_thickness=8,
    min_score_thresh=0.40)

```

Рисунок 3.28 – Модуль візуалізації при розпізнаванні образів

Для тестування програмного забезпечення розпізнавання образів на Raspberry PI потрібно запустити файл object_detector.py у каталозі object_detection. Після старту програми повинно відобразитися вікно перегляду відео з підключеної до Raspberry PI камери у реальному часі. На захоплених та ідентифікованих об'єктах буде відображатись рамка з відсотком впевненості щодо класу об'єкту (рис. 3.28 – рис. 3.30).

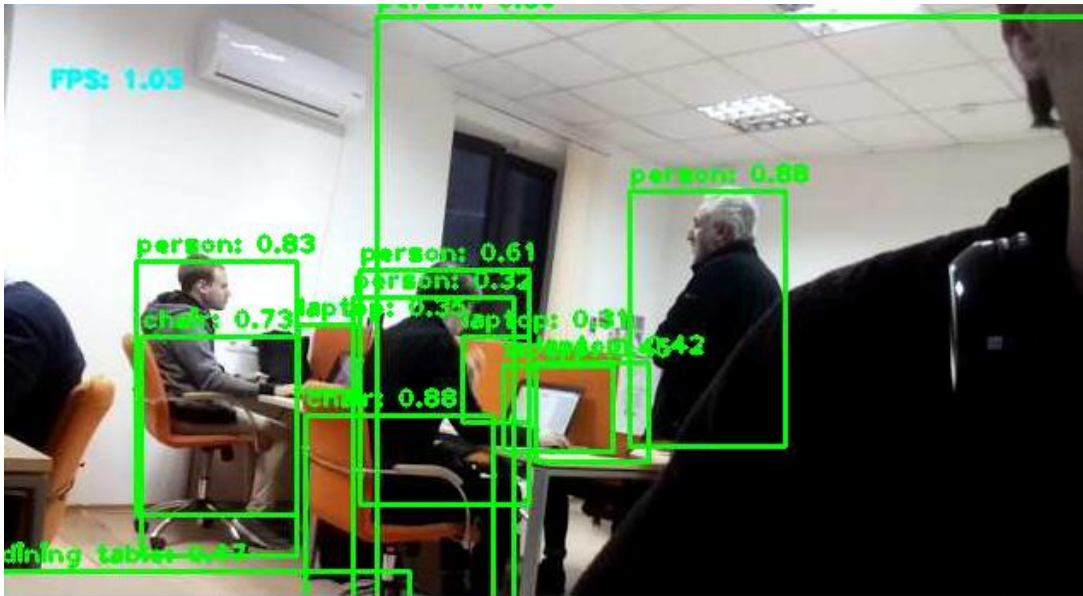


Рисунок 3.28 – Результат розпізнавання образів (тест 1)



Рисунок 3.29 – Результат розпізнавання образів (тест 2)



Рисунок 3.30 – Результат розпізнавання образів (тест 2)

Таким чином, у кваліфікаційній роботі спроектовано та реалізовано комп'ютеризовану систему розпізнавання образів на основі Raspberry Pi, що забезпечується інтелектуальною програмною складовою з використанням бібліотек TensorFlow, OpenCV та нейромережі SSD.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Роль центральної нервової системи в трудовій діяльності людини

Нервова система має найголовніше значення в організмі людини. Вона координує, регулює роботу всіх внутрішніх органів і здійснює зв'язок організму із зовнішнім середовищем.

Нервова система людини складається із центральної (ЦНС), яка включає головний і спинний мозок і периферійної (ПНС), яка складається з нервових волокон, що відходять від головного і спинного мозку.

За функціями нервову систему поділяють на соматичну і вегетативну. Соматична нервова система регулює опорно-руховий апарат і всі органи чуття, а вегетативна - процес обміну речовин та роботу всіх внутрішніх органів (серця, нирок, легенів та ін.). Найпростіші рухи регулює спинний мозок. Довгастий мозок керує процесами травлення, дихання, кровообігу та іншими життєво важливими функціями. Підкіркова і кіркова частини головного мозку керують усією психічною діяльністю людини.

Центральна нервова система виконує рефлекторну, інтегративну та координаційну функції.

Рефлекторна діяльність мозку зумовлена безумовними та умовними рефлексами. Безумовні рефлекси є вродженими, мають велику стійкість і забезпечують пристосування організму до зовнішнього середовища. Умовні рефлекси набуваються залежно від обставин, розширюють діапазон пристосувальницьких можливостей організму і згасають, якщо потреби в них немає.

Стійка і злагоджена система умовних рефлексів формується у процесі навчання і забезпечує виконання певного виробничого завдання. Стійкість

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--|--------------------------------------|-------------|----------------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Гузар Д.Р. | | | <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушіє</i> |
| <i>Перевірів</i> | | Яцишин В.В. | | | | | 61 | |
| <i>Консульт.</i> | | Пилипець М.І. | | | | <i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Луцик Н.С. | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Осухівська Г.М. | | | | | | |

системи умовних рефлексів може бути порушена при відхиленні трудової діяльності від програми, а надійність - під впливом несприятливих виробничих чинників. Такі порушення, якщо не вжити належних заходів, можуть призвести до зниження працездатності, травм або нещасних випадків.

Виконуючи інтегративну функцію, ЦНС забезпечує злагоджену взаємодію всіх органів і систем організму, підтримує його стійкий внутрішній стан. Несприятливі умови праці можуть призвести до стомлення нервової системи, що послаблює її інтегративну функцію і може спровокувати розлад ряду фізіологічних систем: серцево-судинної, шлунково-кишкової, дихальної тощо або призвести до різних захворювань (інфаркти, інсульт, виразкові хвороби та ін.).

Завдяки координаційній функції ЦНС здійснює підпорядкування багатьох рефлексів одному, який має на даний час найважливіше значення для організму.

Усі функції центральної нервової системи реалізуються в кожній конкретній реакції організму, забезпечуючи ефект найбільшого пристосування до мінливих умов зовнішнього середовища і підвищуючи фізіологічну опірність організму шкідливим зовнішнім впливам.

Вища нервова діяльність людини заснована на функціях двох сигнальних систем. Анатомічною основою першої сигнальної системи є аналізатори (зоровий, слуховий та ін.). Аналізатор - це система нервових клітин, які сприймають і переробляють інформацію, що надходить до них із зовнішнього та внутрішнього середовища організму.

Анатомічною основою другої сигнальної системи, яка властива тільки людині, є мовно-руховий апарат, тісно пов'язаний із зоровим та слуховим аналізаторами, а її подразником є слово. Мова, в усіх її видах, являє собою найбагатше джерело подразників. За допомогою слова передаються сигнали про конкретні подразники, і в цьому випадку слово служить принциповим подразником - сигналом сигналів, є пусковим механізмом дій і вчинків людей. Мова підвищує здатність мозку відображати дійсність, забезпечує аналіз і синтез, абстрактне мислення, створює можливість для спілкування, використання і передачі життєвого досвіду, досягнень культури і мистецтва. Але

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

в деяких випадках слово може бути негативним подразником і може призвести до розладів нервової системи, порушень функціонування всіх систем організму і, таким чином, стати небезпечним виробничим фактором.

Центральна нервова система бере участь у прийманні, обробці та аналізі будь-якої інформації, що надходить із зовнішнього і внутрішнього середовищ. При виникненні перенавантажень на організм людини нервова система визначає ступінь їхнього впливу і формує адаптаційно-захисну реакцію.

4.2 Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці на виробництві

Розумова праця об'єднує роботи пов'язані зі сприйняттям та опрацюванням інформації, необхідністю переважного навантаження сенсорного апарату, уваги, пам'яті, а також активації процесів мислення, емоційної сфери.

Виділяють такі різновиди розумової праці:

- операторська;
- адміністративно-керівна;
- творча;
- праця викладачів і медичних працівників;
- праця учнів і студентів.

Вказані види роботи відрізняються по організації трудового процесу, рівномірності навантаження, ступеню емоційного напруження. При розумовій діяльності загострюється сприйняття, увага, пам'ять. Посилюється кровопостачання мозку, підвищується енергетичний обмін нервових клітин, змінюються показники біоелектричної активності мозку.

При інтенсивній інтелектуальній діяльності споживання кисню 100 г кори головного мозку в 5-6 разів більше, ніж споживання скелетного м'язу такої ж ваги при максимальному навантаженні. Розумова праця, а особливо, робота оператора супроводжується деякою нервово-емоційною напругою. Вона призводить до посилення серцево-судинної діяльності, дихання, енергообміну, підвищення м'язового тону.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Після закінчення розумової праці "робоча домінанта" повністю не згасає, зумовлюючи більш тривале втомлення та виснаження ЦНС при розумовій праці, ніж при фізичній.

Практичне значення заходів щодо підвищення працездатності впливає із закономірностей її динаміки і зводиться до:

- збільшення фази стійкого стану в фонді робочого часу;
- прискорення процесу впрацювання;
- віддалення фази розвитку втоми;
- забезпечення високої продуктивності праці за нормальних фізіологічних затрат.

Комплекс заходів щодо підвищення і збереження працездатності працівників на оптимальному рівні реалізується на техніко-організаційному, соціально-економічному, санітарно-гігієнічному, медико-біологічному, психологічному напрямках.

Могутнім фактором високої працездатності і продуктивності праці є оптимізація трудових навантажень на основі механізації і автоматизації виробничих процесів, удосконалення технології, скорочення і ліквідації важкої ручної праці. Доведено, що при правильній організації праці на легких роботах спостерігається найбільша тривалість фази стійкого стану, а на важких роботах вона нетривала.

Високий рівень працездатності безпосередньо залежить від умов праці, оскільки поліпшення їх супроводжується зменшенням енергетичних затрат організму на подолання несприятливого впливу факторів виробничого середовища.

Важливим напрямком підвищення працездатності працюючих є ритмізація трудових процесів, оптимізація темпу роботи, а також раціоналізація трудових рухів на фізіологічній основі, що сприяє формуванню і закріпленню робочих динамічних стереотипів, а отже зменшенню м'язових і вольових зусиль. Ритмічна робота підвищує функціональні можливості організму, сприяє його тренуваності і забезпечує економізацію енергетичних затрат.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Економізація функціональних затрат досягається завдяки стійкій домінанті і автоматизму дій, що виключає зайві рухи, розсіювання уваги тощо.

Особливе значення для підтримання працездатності працівників на високому рівні має раціональний режим праці і відпочинку.

Дослідження показують, що впровадження раціонального режиму праці і відпочинку на підприємствах забезпечує підвищення продуктивності праці на 8—10%, сприяє поліпшенню фізіологічного стану працівників (зменшується частота пульсу в процесі роботи, підвищується м'язова витривалість в кінці зміни, покращується координація рухів).

Високій працездатності працівників сприяє і раціоналізація робочих місць на основі врахування антропометричних, біомеханічних і психофізіологічних вимог, що обумовлює раціональну робочу позу, зменшення статичних навантажень, оптимізацію робочої зони та інформаційних потоків.

Висока працездатність забезпечується за рахунок використання факторів естетичного впливу на працюючих. Такими факторами є колір, світло, музика. Особливо слід підкреслити значення функціональної музики, яка впливає на емоційну сферу людини, підвищує збудливість і лабільність центральної нервової системи. На початку роботи вона прискорює процес впрацювання, а в кінці робочого дня зменшує суб'єктивне відчуття стомленості.

Вплив функціональної музики посилюється, якщо вона поєднується з фізичними вправами. Останні підвищують лабільність органів, які безпосередньо беруть участь у виконанні роботи, активізують роботу органів дихання і кровообігу.

Особливе значення в підвищенні працездатності працівників має створення сприятливого соціально-психологічного клімату в організації, високий рівень мотивації праці, ефективна система стимулювання результатів діяльності, рівень життя в цілому і охорона здоров'я населення.

Ефективність заходів, спрямованих на підвищення працездатності працівників, можна оцінити приростом продуктивності праці, який досягається за рахунок збільшення фази стійкого стану в загальній тривалості робочої зміни.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 65 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

У даній роботі спроектовано та реалізовано прототип комп'ютеризованої системи розпізнавання образів на основі Raspberry PI з використанням бібліотек, машинного навчання, зокрема TensorFlow та OpenCV.

Перед безпосереднім проектуванням комп'ютеризованої системи розроблено та проаналізовано технічне завдання і проведено його аналіз. У результаті цього, встановлено вимоги до апаратного і програмного забезпечення комп'ютеризованої системи. Окрім цього, для розпізнавання візуальних образів досліджено існуючі набори даних щодо об'єктів реального світу на основі яких запропоновано побудувати модель інтелектуального розпізнавання образів.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технічних характеристик Raspberry PI Model B, способів під'єднання периферійних пристроїв до цього міні-комп'ютера, а також принципів і протоколів їхньої взаємодії. В якості пристрою одержання відеоінформації в реальному часі у комп'ютеризованій системі розпізнавання образів використовується Raspberry PI Module Camera з гнучко налаштовуваною роздільною здатністю статичного і динамічного зображення.

Перед реалізацією прикладного програмного забезпечення розпізнавання образів проведено інсталяцію операційної системи системою Raspberry PI OS, налаштовано параметри з'єднання з локальною комп'ютерною мережею та мережею Інтернет за допомогою технології WiFi, встановлено необхідні бібліотеки для реалізації інтелектуальної складової комп'ютерної системи.

При реалізації комп'ютеризованої системи розпізнавання образів застосовано попередньо навчені нейронні мережі VGG-16 та архітектуру SSMD, які підтримуються бібліотеками TensorFlow та OpenCV.

Програмну реалізацію системи розпізнавання образів реалізовано мовою програмування Python, що підтримується операційною системою Raspberry PI OS.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. RASPBERRY PI 3 MODEL B+. URL: <https://www.digikey.com/en/products/detail/raspberry-pi/RASPBERRY-PI-3-MODEL-B/8571724> (дата звернення 05.04.2021 р.).
2. Install TensorFlow. URL: <https://www.tensorflow.org/install> (дата звернення 17.04.2021 р.).
3. TensorFlow Datasets: a collection of ready-to-use datasets. URL: <https://www.tensorflow.org/datasets> (дата звернення 17.04.2021 р.).
4. Cuda. URL: <https://opencv.org/platforms/cuda/> (дата звернення 21.04.2021 р.).
5. Петин В. Микрокомпьютеры Raspberry Pi: Практическое руководство. БХВ-Петербург. 2015. 240 с.
6. Магда Ю. Raspberry Pi. Руководство по настройке и применению. Litres. 2017 р. 161 с.
7. Макаров С. Arduino Uno и Raspberry Pi 3: от схемотехники к интернету вещей. Litres. 2019 р. 202 с.
8. Тиммонс-Браун М. Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов Робототехника на Raspberry Pi для юных конструкторов и программистов. БХВ-Петербург. 2020. 208 с.
9. Барабаш Ю. Л. Коллективные статистические решения при распознавании. М. : Радио и связь, 1983. 224 с.
10. Васильев В. И. Распознающие системы : справочник. К. : Наукова думка, 1983. 230 с.
11. Горелик А. Л. Методы распознавания. М. : Высшая школа, 1984. 219 с.
12. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен : пер. с англ. М. : Мир, 1978. 510 с.
13. Форсайт Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход : пер. с англ. М. : Вильямс, 2004. 928 с.
14. Шапиро Л. Компьютерное зрение : пер. с англ. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

15. Beginner's Guide to Object Detection Algorithms. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/beginners-guide-to-object-detectionalgorithms-6620fb31c375> (дата звернення 01.05.2021).

16. NumPy v1.20 Manual. URL: <https://numpy.org/doc/stable/> (дата звернення 25.05.2021р.).

17. Кузин Л.Т. Расчет и проектирование дискретных систем управления.- М.: ГИ ТИМЛ, 2012.- 648 с.

18. Python Tutorial. URL: <https://www.w3schools.com/python/default.asp> (дата звернення 15.04.2021 р.).

19. Pandas documentation. URL: <https://pandas.pydata.org/docs/index.html> (дата звернення 28.05.2021 р.).

20. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Київ. 2018.

21. Катренко Л.А., Катренко А.В. Охорона праці в галузі комп'ютерів. Львів: Магнолія-2006. 2012. 544 с.

22. Бедрій Я. Основи охорони праці користувачів персональних комп'ютерів: навчальний посібник для студентів ВНЗ та інженерів-практиків. Навчальна книга-Богдан. 2014. 144 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.167.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 68 |

Додаток А.
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ___ ” _____ 2021 р

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ
НА ОСНОВІ RASPBERRY PI

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 11 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІс-44

_____ к.т.н., доц. Яцишин В.В.

_____ Гузар Д.Р.

« ___ » _____ 2021 р.

« ___ » _____ 2021 р.

Тернопіль 2021

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry PI».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.167.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-44, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Гузар Денис Русланович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4.7-97 від 10.02.2021 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 10.02.2021 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 20.06.2021 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry Pi призначена для виявлення та ідентифікації об'єктів реального світу, що може використовуватися у різних сферах людської діяльності. При проведенні наукових досліджень, наприклад виявленні і визначенні поведінки тріщин в реальному часі, можна спостерігати і прогнозувати їх розвиток. У галузі забезпечення безпеки дорожнього руху, такі системи можуть запобігати ДТП, або спрогнозувати виникнення небезпечних ситуацій. У медицині системи комп'ютерного зору забезпечують ідентифікацію різного роду нетипових утворень, а також дають змогу ідентифікувати сторонні об'єкти, їх точне розміщення і форму, а та спрогнозувати шляхи усунення.

Виявлення та розпізнавання образів є складною проблемою сфери комп'ютерного зору. Суть такого процесу полягає у захопленні зображення з відеопотоку або аналізу збереженого відеофайлу з подальшою ідентифікацією образів, які становлять зацікавленість кінцевих користувачів, а після цього класифікації об'єктів за наперед визначеними класами.

Сферою застосування цього розділу комп'ютерного зору могут бути відстеження людей на пішохідному переході, відстеження людей для розпізнавання

обличчя, пошуку перешкод при експлуатації автомобілів та допомоги роботам у визначенні об'єктів, якими можна маніпулювати. Однією із трендових тенденцій застосування технологій комп'ютерного зору є віддалена відео інспекція, коли інспектор-людина спостерігає об'єкти реального світу, але фізично не перебуває у визначеному місці звідки ведеться трансляція. Це дуже корисно, коли до об'єктів важко отримати доступ або вони перебувають у небезпечних для людини умовах. До таких типових систем комп'ютерного зору належать апаратно-програмні комплекси в авіаційних та космічних апаратах, у сфері нагляду за процесами у нафтогазопроводах, атомних електростанціях тощо.

Побудова комп'ютеризованої системи розпізнавання образів на основі Raspberry PI передбачає одержання відеоінформації в реальному часі, виконання процедур виділення кадрів зображень, їх аналіз на предмет відомих об'єктів та автоматичну їх класифікацію. Реалізація такої системи дозволить підвищити точність та якість процесів, що вимагають ідентифікації та розпізнавання образів.

2.2 Мета створення системи

Мета побудови комп'ютеризованої системи розпізнавання образів полягає у забезпеченні можливості підвищення якості ідентифікації об'єктів реального світу для прогнозування та виявлення потенційно небезпечних ситуацій і допомоги операторам систем відеомоніторингу.

Основними задачами, які необхідно розв'язати для досягнення мети є наступні:

- провести дослідження особливостей систем розпізнавання образів та підходів до їх проектування;
- проаналізувати технічні характеристики і дослідити параметри та налаштування міні-комп'ютера Raspberry PI на предмет реалізації системи ідентифікації та розпізнавання об'єктів різних класів;
- обґрунтувати вибір програмних бібліотек для розв'язання задачі розпізнавання образів;

- визначити вимоги до інфраструктури і даних при розпізнаванні образів;
- налаштувати параметри системного програмного забезпечення Raspberry PI для одержання відеозображень з камери ;
- обґрунтувати вибір і реалізувати засобами мови програмування Python модель розпізнавання образів;
- підготувати класи зображень для ідентифікації об'єктів;
- провести тестування системи.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Комп'ютеризовану систему розпізнавання образів доцільно використовувати у сферах, де необхідно забезпечити підтримку прийняття рішень щодо природи і поведінки об'єкту, приналежності його до певного класу наперед відомих об'єктів, а також автоматизації процесу відеомоніторингу в умовах реального часу.

Для автоматизації процесу розпізнавання образів необхідним є застосування відповідних апаратних і програмних засобів, а також виявлення обмежень на середовище функціонування системи в частині передачі інформації. До основних апаратних компонентів комп'ютеризованої системи розпізнавання образів можна віднести:

- міні-комп'ютер Raspberry PI;
- камера з підтримкою та інтерфейсами комунікації з Raspberry PI;
- персональний комп'ютер для прототипування інтелектуальної складової розпізнавання образів і завантаження на Raspberry PI;
- пристрій виводу інформації при трансляції відео;
- сервер для зберігання навчальної вибірки зображень.

До складу системного та прикладного програмного забезпечення комп'ютеризованої системи розпізнавання образів потрібно віднести:

- операційна система Raspbian;

- бібліотеки OpenCV, Tensorflow;
- зображення навчальної вибірки, визначеного формату;
- середовище Jupyter Notebook.

Комп'ютеризована система розпізнавання образів повинна володіти засобами авторизованого доступу до програмного та апаратного забезпечення, забезпечувати функціональність щодо трансляції відеопотоку з нанесеними маркерами і рамками об'єктів реального світу.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система розпізнавання образів на основі Raspberry Pi повинна вирішувати задачі ідентифікації та формування підписів до об'єктів, які потрапляють в об'єктив відеокамери з імовірністю приналежності до наперед визначених класів. Реалізація системи може бути виконана на основі попередньо навчених нейронних мереж, виконувати автоматичне виділення кадрів, а також забезпечувати трансляцію потокового відео у наближених до реального часу умовах. Для цього, комп'ютеризована система має відповідати наступним вимогам:

- надійне та визначене технічним регламентом безперебійне функціонування апаратних пристроїв;
- захоплення та аналіз відеопотоку в реальному часі;
- продуктивність функціонування програмно-апаратного комплексу системи із затримками до 1с;
- паралельний авторизований доступ користувачів-операторів до відеоінформації, одержуваної з відеокамери;
- можливість донавчання нейронної мережі та розширення навчальної вибірки;

- ефективне використання процесорного часу, об'єму оперативної пам'яті та ін. компонентів для забезпечення необхідної функціональності комп'ютеризованої системи;
- забезпечення доступу до системи розпізнавання образів програмними засобами, зокрема з використанням різних типів браузерів.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структура комп'ютеризованої системи розпізнавання образів включає в себе:

- міні-комп'ютер Raspberry PI;
- відеокамера;
- програмна модель машинного навчання для розпізнавання образів;
- множина зображень навчальної вибірки;
- середовище Jupyter Notebook;
- бібліотеки Tensorflow та OpenCV.

Комп'ютеризована система розпізнавання образів повинна виконувати функції відеотрансляції, ідентифікації об'єктів, їхнього розпізнавання із заданої точністю щодо приналежності до певного класу.

До функцій комп'ютеризованої системи відеоспостереження належать:

- можливість трансляції відеопотоку у локальну мережу;
- можливість ідентифікації об'єктів, захоплених відеокамерою;
- можливість формування та розширення навчальної вибірки зображень об'єктів ;
- накладання рамки на межі об'єкта;
- формування підпису з назвою об'єкту або класу об'єктів з визначеною достовірністю ;
- здатність системи до донавчання шляхом додавання нових зображень об'єктів;
- санкціоноване керування доступом до програмних і апаратних ресурсів комп'ютеризованої системи;

- час відгуку системи $< 1\text{с}$;
- здатність до взаємодії із зовнішніми сервісами.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін даними між Raspberry PI та сервером для зберігання зображень, а також клієнтськими пристроями забезпечується застосуванням технології передачі даних WiFi на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц. Також за необхідності можливий обмін даними через USB інтерфейс.

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

До вимог щодо діагностики комп'ютеризованої системи розпізнавання образів належать здатність перевірки коректної ініціалізації апаратних пристроїв, а також налагодження і самотестування програмного забезпечення. Операції з діагностування системи відбуваються згідно із визначеним планом, або у випадку виявлення збоїв роботи системи.

3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку комп'ютеризованої системи розпізнавання образів є перехід на новіші Raspberry PI модулі з кращими технічними характеристиками, зокрема об'ємом RAM 8 ГБ, або інші платформи з підтримкою моделей, реалізованих за допомогою мови програмування Python.

Щодо інтелектуальної складової комп'ютеризованої системи розпізнавання образів, то перспективами розвитку є покращення точності розпізнавання образів, накопичення більшої кількості зображень різних об'єктів, можливість повторного навчання системи, а також формування контейнерів для їх запуску на інших програмно-апаратних платформах.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Вимогами до надійності комп'ютеризованої системи розпізнавання образів є:

- час перебігної роботи системи – 99,9%;
- здатність до відновлення після збоїв;
- обмеження фізичного доступу до апаратного забезпечення;
- авторизований доступ до програмного забезпечення сервера;
- виведення сервісних повідомлень про некоректність функціонування системи;
- стабільність відеотрансляції;
- авторизований одночасний доступ кількох користувачів.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

До функцій та задач, виконання яких повинна забезпечити комп'ютеризована система розпізнавання образів, належать:

- здатність забезпечити відтворення об'єктів за допомогою відеокамери у режимі реального часу;
- можливість керування параметрами роздільної здатності камери за допомогою Raspberry PI;
- забезпечення можливості зчитування відеозображення клієнтськими пристроями;
- здатність розпізнавати об'єкти предметної області;
- можливість формування підписів захоплених відеокамерою об'єктів, їх назв та імовірності приналежності до визначеного класу образів;
- можливість навчання та донавчання моделі розпізнавання образів;
- можливість керування параметрами якості розпізнавання образів;
- здатність накопичувати нові дані про об'єкти середовища, де використовується система;
- здатність управління процедурами доступу до зображень та відео/

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення комп'ютеризованої системи розпізнавання образів включає в себе наступні компоненти, вимогами до яких є:

- Raspberry PI 3 з підтримкою WiFi передачі даних, об'ємом оперативної пам'яті 1 Гб;
- SD-картка, об'ємом до 4 Гб;
- Модуль камери Raspberry Pi Camera Module;

Апаратні вимоги до клієнтських станцій системи розпізнавання образів:

- тактова частота процесора більше 1,8 ГГц;
- мінімальний об'єм оперативної пам'яті 2 Гб;
- об'єм жорсткого диску - 64 Гб.

Вимоги до апаратного забезпечення сервера:

- тактова частота процесора більше 2,0 ГГц з мінімальною кількістю паралельних потоків 8;
- мінімальний об'єм оперативної пам'яті 16 Гб;
- об'єм жорсткого диску – 8 ТБ.

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

В якості системного програмного забезпечення Raspberry PI використовується операційна система Raspbian з підтримкою Python.

Програмне забезпечення робочих станцій може базуватись на будь-якій операційній системі за наявності web-браузера.

Програмне забезпечення сервера – Linux-подібне, або хмарний сервіс.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу;

1. Апаратні інтерфейси Raspberry PI.
2. Схема електрична принципова та призначення інтерфейсу GPIO
3. Архітектура комп'ютеризованої системи розпізнавання образів
4. Типова структура згорткової нейронної мережі
5. Архітектура нейронної мережі VGG-16
6. Результати розпізнавання образів

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

| № етапу | Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи | Термін виконання |
|---------|--|------------------|
| 1 | Розробка та аналіз технічного завдання | 10.02-21.02.2021 |
| 2 | Аналіз існуючих рішень до побудови систем розпізнавання образів | 21.02-07.03.2021 |
| 3 | Аналіз особливостей апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи | 08.03-20.03.2021 |
| 4 | Проектування та налаштування параметрів Raspberry PI | 20.03-26.03.2021 |
| 5 | Обґрунтування вибору бібліотек і формування навчальної вибірки зображень | 27.03-10.04.2021 |
| 6 | Проектування програмної реалізація моделі розпізнавання образів | 10.04-04.05.2021 |
| 7 | Розробка інструкцій із встановлення та налаштування параметрів комп'ютеризованої системи розпізнавання образів | 04.05-20.05.2021 |
| 8 | Безпека життєдіяльності, основи охорони праці | 20.05-27.05.2021 |
| 9 | Оформлення кваліфікаційної роботи | 27.05-10.06.2021 |
| 10 | Попередній захист кваліфікаційної роботи | 10.06-20.06.2021 |
| 11 | Захист кваліфікаційної роботи | 21.06-27.06.2021 |

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б.

Програмний код моделі розпізнавання образів

```
import os
import cv2
import numpy as np
from picamera.array import PiRGBArray
from picamera import PiCamera
import tensorflow as tf
import argparse
import sys
# This is needed since the working directory is the object_detection
folder.
sys.path.append('.')
# Import utilites
from utils import label_map_util
from utils import visualization_utils as vis_util
# Name of the directory containing the object detection module we're
using
MODEL_NAME = 'ssdlite_mobilenet_v2_coco_2018_05_09'
# Grab path to current working directory
CWD_PATH = os.getcwd()
# Path to frozen detection graph .pb file, which contains the model
that is used
# for object detection.
PATH_TO_CKPT =
os.path.join(CWD_PATH,MODEL_NAME,'frozen_inference_graph.pb')
# Path to label map file
PATH_TO_LABELS =
os.path.join(CWD_PATH,'data','mscoco_label_map.pbtxt')
# Number of classes the object detector can identify
NUM_CLASSES = 90
label_map = label_map_util.load_labelmap(PATH_TO_LABELS)
categories = label_map_util.convert_label_map_to_categories(label_map,
```

```

max_num_classes=NUM_CLASSES, use_display_name=True)
category_index = label_map_util.create_category_index(categories)
# Load the Tensorflow model into memory.
detection_graph = tf.Graph()
with detection_graph.as_default():
    od_graph_def = tf.GraphDef()
    with tf.gfile.GFile(PATH_TO_CKPT, 'rb') as fid:
        serialized_graph = fid.read()
        od_graph_def.ParseFromString(serialized_graph)
        tf.import_graph_def(od_graph_def, name='')
    sess = tf.Session(graph=detection_graph)
image_tensor = detection_graph.get_tensor_by_name('image_tensor:0')
detection_boxes =
detection_graph.get_tensor_by_name('detection_boxes:0')
detection_scores =
detection_graph.get_tensor_by_name('detection_scores:0')
detection_classes =
detection_graph.get_tensor_by_name('detection_classes:0')
num_detections =
detection_graph.get_tensor_by_name('num_detections:0')
# Initialize frame rate calculation
frame_rate_calc = 1
freq = cv2.getTickFrequency()
font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
while True:
    # Initialize Picamera and grab reference to the raw capture
    camera = PiCamera()
    camera.resolution = (640,480)
    camera.framerate = 10
    rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(640,480))
    rawCapture.truncate(0)
    for frame1 in camera.capture_continuous(rawCapture,
format="bgr",use_video_port=True):
        t1 = cv2.getTickCount()
        # Acquire frame and expand frame dimensions to have shape: [1,

```

```

None, None, 3]
    # i.e. a single-column array, where each item in the column
has the pixel RGB value
    frame = np.copy(frame1.array)
    frame.setflags(write=1)
    frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    frame_expanded = np.expand_dims(frame_rgb, axis=0)
    # Perform the actual detection by running the model with the
image as input
    (boxes, scores, classes, num) = sess.run(
        [detection_boxes, detection_scores, detection_classes,
num_detections],
        feed_dict={image_tensor: frame_expanded})
    # Draw the results of the detection (aka 'visualize the
results')
    vis_util.visualize_boxes_and_labels_on_image_array(
        frame,
        np.squeeze(boxes),
        np.squeeze(classes).astype(np.int32),
        np.squeeze(scores),
        category_index,
        use_normalized_coordinates=True,
        line_thickness=8,
        min_score_thresh=0.40)
    cv2.putText(frame, "FPS:
{0:.2f}".format(frame_rate_calc), (30, 50), font, 1, (255, 255, 0), 2, cv2.LINE
_AA)
    # All the results have been drawn on the frame, so it's time
to display it.
    cv2.imshow('Object detector', frame)
    t2 = cv2.getTickCount()
    time1 = (t2-t1)/freq
    frame_rate_calc = 1/time1
    # Press 'q' to quit
    if cv2.waitKey(1) == ord('s'):

```

```
break  
rawCapture.truncate(0)  
camera.close()
```