

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА


Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 –Комп'ютерна інженерія

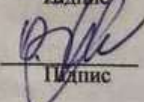
на тему «Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору»

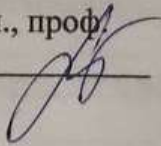
КвРКІ. 2001110.13.36.01 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-20-1


Підпис Коваленко В.В
Ініціали, прізвище

Керівник д.ф., старший викладач
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис Павлова О.О
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.
Т.О. Говорущенко
12 05 2022 р. 

Хмельницький, 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

“ 01 ” 09 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)**

Коваленку Володимирі Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору

Керівник проекту (роботи) Павлова О.О., д.ф., старший викладач

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

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

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

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

Аналіз існуючих рішень у галузі розумних парковок


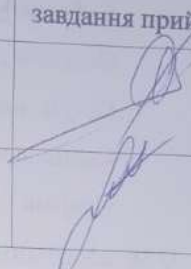


Технологія розпізнавання зображень на основі нейронної мережі

Модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування

Кіберфізична система для розумного паркінгу на основі технології комп'ютерного зору

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

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	05.09.2021	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2021	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2021	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2021	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2022	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2022	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2022	виконано
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2022	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 10.05.2022	

Студент


 Підпис

 В.В.Коваленко
 Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


 Підпис

 О.О. Павлова
 Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору

Автор роботи: Коваленко Володимир Володимирович

Керівник роботи: Павлова Ольга Олександрівна, д.ф., ст. викладач

Пояснювальна записка: 100 сторінок, 23 рис., 8 табл., 3 додатки, 64 джерела.

Об'єктом дослідження є програмно-технічні засоби кіберфізичної системи розумної парковки.

Предметом дослідження є застосування технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж для розумної парковки.

Метою дипломної роботи є підвищення зручності використання громадських парковок для забезпечення концепції розумного міста шляхом застосування технології розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів навчання згорткових нейронних мереж для розпізнавання зображень та впровадження даних методів та алгоритмів у систему розумної парковки.

За темою дипломної роботи опубліковано англomовну статтю у фаховому науковому журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» CSIT, тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS-2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022, де вона здобула третє місце.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ РОЗУМНИХ ПАРКОВОК.....	9
1.1 Парковка як одна із складових концепції розумного міста	9
1.2 Аналіз існуючих технологій для реалізації розумної парковки	12
6	
1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації.....	24
1.5 Висновки.....	31
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ	32
2.1 Алгоритм для розпізнавання зображень на основі нейронної мережі	32
2.2 Використання технології комп'ютерного зору OpenCV для розпізнавання автомобілів	38
2.3 Використання технології на базі Google Cloud Vision API для розпізнавання автомобілів	41
2.4 Проведення обчислювальних експериментів та визначення точності класифікації для обраних технологій	43
2.5 Висновки.....	50
3 МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ.....	51
3.1 Збір та підготовка тестових даних для інформаційної моделі	51
3.2 Інформаційна модель розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі	56
3.3 Висновки.....	66

4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	67
4.1 Вибір моделі життєвого циклу та аналіз вимог до кіберфізичної системи розумної парковки на основі штучної нейронної мережі.....	67
4.2 Проектування архітектури системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності	73
4.3 Програмна реалізація кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі.....	77
4.4 Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі	79
4.5 Висновки.....	82
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	84
ДОДАТОК А КОД (ЛІСТИНГ) ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	88
ДОДАТОК Б ТЕЗИ ДОПОВІДІ НА ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК АПКН-2021»	90
ДОДАТОК В СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ	95

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗНМ – Згорткова нейронна мережа

ШІ – штучний інтелект

ІТ – інформаційна технологія

LAN - Local Area Network- локальна мережа

ML - Machine Learning – машинне навчання

OpenCV – бібліотека комп'ютерного зору Open ComputerVision.

GCV API – технологія розпізнавання зображень Google Cloud Vision API.

ВСТУП

Наразі питання створення розумних парковок є надзвичайно актуальним, особливо у великих містах. Із збільшенням кількості автомобілів збільшується потреба в місцях для паркування та пошуку. Якщо припустити, що кожен день середній водій витрачає на пошуки такого місця 20 хвилин, то це приблизно 120 годин на рік, які можна витратити на щось більш корисне. А якщо врахувати те, що їздити коло за колом у пошуках вільного місця підвищується ймовірність потрапити в аварію – інформація про вільне місце може виявитися неоціненною.

Сьогодні існує багато проектів розумних паркінгів, але готові до використання приклади можна перерахувати на пальцях, а інформація про економічний аспект їх реалізації взагалі дуже обмежена. Слід мати на увазі, що при розробці таких інструментів найбільшу фінансову частину розробки несе програмне, а не апаратне забезпечення. Навіть у відносно дорогих сенсорних системах на основі магнітних, радіо та інфрачервоних датчиків головне – це взаємодія користувача з описаними вище апаратними компонентами. Інтерфейс в ідеалі має бути у вигляді сітки паркувальних місць, які повинні чітко і без зайвих рухів показувати користувачеві, вільні вони чи ні.

Тому сьогодні актуальною є проблема пошуку вільного паркувального місця на громадських паркінгах. Оскільки уряд активно розвиває систему розумного міста, розумна громадська парковка з низькою вартістю та високою доступністю для всіх жителів міста має стати невід’ємною частиною цієї системи.

Кількість транспортних засобів на вулицях сьогодні неухильно зростає. Отже, це призводить до численних негативних наслідків, таких як затори, відсутність вільних місць для паркування, забруднення та шум. Автомобіль в середньому паркується близько 95% дня, а це означає, що транспортні засоби більшість часу припарковані. Більш того, пошук вакантного місця для паркування автомобіля може статися під час поїздки на роботу, покупки чи іншої ексклюзивної події споживаючи багато часу та палива. Крім того, інші обмеження для паркування сьогодні викликані транспортними

засобами, які припарковані незаконно, займаючи більше місця ніж потрібно, або залишаючи транспортний засіб або об'єкт на місці паркування без будь-яких дозволів.

Крім того, міста використовують економічні ініціативи на основі розумних систем паркування. Перш за все такі системи можуть скоротити час, витрачений водіями, та збільшити кількість місць для паркування, що може допомогти зменшити екологічні забруднення, витрату палива та дорожні затори. По -друге, якщо водії можуть швидко знайти місце для паркування, то можна зменшити час простою паркувальних місць, таким чином збільшивши доходи з платного паркування. Крім того, розумні системи паркування можуть допомогти виявити несанкціоновану парковку та видати штраф. Нарешті, через зменшення кількості транспортних засобів, що курсують для паркування, можливо зменшити транспортний потік, тобто збільшиться міська рухливість, а також міська мобільність, що підвищить місткість міста. Така мобільність може розширити можливості збільшення населення, а також створить більше можливостей діяльності та можливостей працевлаштування у міських районах. Актуальність роботи полягає у вдосконаленні вже існуючих алгоритмів навчання нейронних мереж та розробці нової інформаційної моделі на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування. Метою дипломної роботи є підвищення зручності використання громадських парковок для забезпечення концепції розумного міста шляхом застосування технології розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- 1) необхідно розробити метод застосування штучної нейронної мережі для ідентифікації об'єктів;
- 2) на основі розробленого методу розробити інформаційну модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування;
- 3) розробити програмну реалізацію інформаційної технології для розпізнавання та ідентифікації автомобілів на основі згорткової нейронної мережі у вигляді мобільного додатку для операційної системи Android OS.

Об'єктом дослідження є програмно-технічні засоби кіберфізичної системи розумної парковки.

Предметом дослідження є застосування технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж для розумної парковки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів навчання згорткових нейронних мереж для розпізнавання зображень та впровадження даних методів та алгоритмів у систему розумної парковки:

- 1) набув подальшого розвитку метод та алгоритм застосування згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень;
- 2) розроблено інформаційну модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування;
- 3) розроблено програмну реалізацію інформаційної технології для розпізнавання та ідентифікації автомобілів на основі згорткової нейронної мережі (серверну частину).

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці апаратно-програмної інформаційної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж та її реалізації у вигляді серверної частини програмного забезпечення для мобільного додатку на базі ОС Android.

За темою дипломної роботи опубліковано англomовну статтю у фаховому науковому журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» CSIT, тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS-2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022, де вона здобула третє місце.

На основі проведених досліджень розроблено архітектуру та компоненти апаратно-програмного забезпечення на основі штучної нейронної мережі для розпізнавання зображень з камери для системи розумної парковки.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці інформаційної моделі для розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі та інформаційної технології для застосування моделі для розпізнавання автомобілів у кіберфізичній системі розумної парковки.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ РОЗУМНИХ ПАРКОВОК

1.1 Парковка як одна із складових концепції розумного міста

Міста – ключові економічні, географічні та адміністративні одиниці сучасного світу. Людство у своїй історії вже колись проходило стадію міст-держав – самодостатніх політичних і економічних гравців на континентальних картах. Історія, як відомо, повторюється по спіралі, і сьогоднішні мегаполіси багато в чому знову стають такими гравцями.

Найбільші міста світу за кількістю населення перевищують, іноді у багато разів, цілі країни та стають аренами для неймовірних трансформацій. Стрімка урбанізація і темпи розширення міст змінюють підхід до планування і розвитку їхньої інфраструктури. Як невеликий приклад: за даними Міжнародної організації міграції (МОМ), щотижня в міста мігрує 3 млн осіб – еквівалент нового Мадриду або Буенос-Айресу. Розвиток будівельних технологій дозволив перейти до вертикальної просторової експансії. Значно ущільнився транспортний трафік, збільшилася інформаційне навантаження і зменшився доступний життєвий простір на одного жителя. Водночас, рівень потреб мешканців не просто виріс – він якісно змінився і розширився.

У результаті міста й агломерації стикаються з новими викликами, а в жителів з'являються нові очікування від них та нові потреби. Мегаполіси вчаться надавати додаткові послуги своїм мешканцям, намагаючись зробити їхнє життя легшим, безпечнішим і комфортнішим.

Дана комбінація факторів призвела до необхідності пошуку нових рішень, нових парадигм взаємин міста і його населення. Міста змушені перейти від формату знеособленої «території для виживання і задоволення базових потреб жителів» до формату самоідентифікації міста, як «живої істоти», визнання жителів як суб'єктів, а не об'єктів міського життя – і, як наслідок, до інтерактивної комунікації міста з цими суб'єктами, як колективним

диференційованим розумом. Простіше кажучи, перетворитися в «розумне» місто, в Smart City.

Ця трансформація, у міру виникнення нових технологічних рішень, найчастіше відбувається органічно, у локальних масштабах, як результат випадкового збігу фінансових можливостей міста або його окремих адміністративних одиниць, з побажаннями і необхідністю різних стейкхолдерів у конкретній адміністративній одиниці в конкретний момент часу [1].

У цьому безсумнівна сила трансформації, але вона таїть у собі і вкрай високі ризики – ризики дисгармонії і розбіжності окремих технологічних рішень у масштабі всього міста. Це ризики безпеки, глухих кутів логістичного управління міськими потоками, порушення балансу між комфортом жителів і виконанням критичних завдань обслуговування міста. Для мінімізації цих ризиків процес перетворення в «розумне» місто має відбуватися згідно з узгодженим усіма стейкхолдерами середньо- і довгостроковим планом, а безпосередня імплементація – проходити на основі єдиної технологічної платформи. Давайте трохи глибше подивимося на теорію розумних міст та існуючі технологічні рішення. «Розумне» місто – місто, яке «чує» і підлаштовується під потреби своїх мешканців.

Smart City або «розумне місто», що надає жителям більший комфорт, безпеку, екологічність, в порівнянні з сучасним мегаполісом, вже не тільки вигадки мрійників-фантастів. Це реальні концепти, окремі елементи яких впроваджуються в Нью-Йорку і Сінгапурі, Токіо і Берліні, Чикаго та Києві. Південна Корея добудовує перше «розумне» місто, спроектоване з нуля. І Сонгдо незабаром відкриє нову еру містобудування – еру «смартполісів». Структура та компоненти розумного міста наведені на рисунку 1.1. Кореляція складових розумного міста представлена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.1 – Структура розумного міста [1]

У фундаменті «розумних» міст кілька підпор. Одна з них – телекомунікації. Такому місту потрібен швидкий і надійний зв'язок – тільки так його переваги реалізовуватимуться. В кінці минулого – на початку поточного року «Київстар» успішно протестував NB-IoT, мережу для «інтернету речей». З її допомогою можна зчитувати показники датчиків руху муніципального транспорту, водо- і теплоспоживання; регулювати освітленість в залежності від часу доби і погоди.



Рисунок 1.2 – Кореляція складових «розумного» міста[1]

1.2 Аналіз існуючих технологій для реалізації розумної парковки

Зі зростанням рівня урбанізації та збільшенням кількості автомобілів у великих містах проблема паркування стала цікавою не тільки з прикладної точки зору, але й з наукової, оскільки необхідно було шукати нові раціональні шляхи. паркувати автомобілі, наприклад, концепцію розумного міста.

Ця проблема розглядалася в працях багатьох вчених усього світу. Lookmuang та ін. [10] пропонують і розробляють прототип з використанням вбудованого контролера, Raspberry Pi 3, ультразвукового датчика та камери, з метою локалізації вільних місць для паркування. Подібні підходи пропонують Vakula та інші [11], також Grodi та інші [12]. Зокрема, Grodi та інші обговорили переваги та недоліки кількох типів датчиків, таких як індукційне наближення, RFID, виявлення світла/дальності та камера. В обох випадках автори вирішили використовувати ультразвуковий датчик для визначення того, коли транспортний засіб був припаркований на місці паркування. Maine та інші [13] представляють ще одну розумну систему паркування, яка поєднує в собі різні технології IoT, такі як ультрависокочастотна RFID (UHF RFID), бездротова сенсорна мережа (WSN) і зв'язок ближнього поля (NFC). Робота, виконана Patane та інші [14] є прикладом системи виявлення вільних паркувальних місць, яка використовує систему зору. Подібний підхід був внесений Amato та інші [5], де була підготовлена колекція з приблизно 150 000 зображень для класифікації вільних місць для паркування.

Але вищезгадані роботи не представляють жодного готового до використання рішення для інтелектуальної системи паркування, яка забезпечує швидкий і легкий доступ для користувача з низькими витратами на встановлення та обслуговування. Тому дослідження методів розумного паркування все ще залишається актуальною проблемою.

Сьогодні існує кілька запропонованих систем, які використовуються для пошуку вільних місць для паркування, де невеликі датчики розміщені на кожному парковковому місці або поруч з ними розміщуються камери, які відстежують вільні місця для паркування [1] [2]. Однак ці рішення вимагають джерела

живлення та часто обслуговування кожного з датчиків. Кожне рішення має певні переваги та недоліки, засновані на сенсорній технології, яка використовується для визначення стану паркувальних місць.

1. Ультразвуковий датчик. Сьогодні ультразвукові датчики зазвичай використовуються для найрізноманітніших застосувань, таких як виявлення руху, присутності, наближення або вимірювання відстані. Деякі з основних сфер застосування ультразвукових датчиків є вода та стічні води, видобуток корисних копалин, загальна промисловість, хімія, та нафтохімія. Ультразвукова технологія є однією з найбільш бажаних технологій для розумних систем паркування.

2. RFID. Технологія RFID широко використовується в промисловості, електронній комерції, кредитних картках, ID картках і так далі. Сьогодні RFID є однією з ключових технологій для розвитку рішення інтернету речей, зокрема, одна із сфер застосування технології RFID це рішення для паркування. Ця технологія була використана для виявлення транспортних засобів, і нижче будуть представлені подібні рішення.

3. Магнітний датчик. Використання магнітних датчиків може бути дуже корисним при розробці системи виявлення вільних місць для паркування. Оскільки магнітні датчики покладаються на магнітне поле, вони можуть виявляти коли є деякі аномальні зміни магнітного поля, наприклад, коли автомобіль знаходиться над магнітним датчиком.

4. Камера. Хоча датчики широко використовуються для виявлення транспортних засобів, вони мають деякі недоліки. Один з основних недоліком є масштабованість, оскільки необхідність використання одного датчика на місце для паркування може бути дорогим рішенням. Щоб подолати цю проблему, можна використовувати системи на основі зору для виявлення транспортних засобів [11]. «Системи такого типу можуть забезпечити більш масштабоване рішення, ніж система на основі датчиків. А камеру, яка розміщена в місці, яке охоплює широкий огляд зони паркування визначити стан кількох паркувальних місць. Порівняння відомих методів та технологій для реалізації розумних парковок наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння різних методів реалізації розумних парковок

	Ультразвуковий датчик	RFID	Магнітний датчик	Камера
Вартість монтажу	Висока	Висока	Висока	Низька
Вартість обслуговування	Висока	Висока	Висока	Низька
Вартість обладнання (за одиницю)	Низька	Низька	Низька	Середня
Споживання енергії	Низьке	Різне	Різне	Високе
Можливе транспортування	Складно	Складно	Складно	Легко
Апаратна складність	Висока	Висока	Висока	Низька
Складність програмного забезпечення	Низька	Низька	Низька	Висока
Масштабованість	Низька	Низька	Низька	Висока
Надійність	Висока	Висока	Висока	Висока
Ідентифікація транспортного засобу	Немає	Так	Немає	Так
Розпізнавання перешкод	Так	Немає	Різне	Так
Розпізнавання транспортних засобів	НЕМАЄ	ТАК	ТАК	ТАК
Додаткові вимоги	-	Конфіденційність і необхідність мати мітку	-	Конфіденційність і безпека

Таким чином, з наведеної вище таблиці можна зробити висновок, що метод розумного паркування з використанням камери є набагато ефективнішим за інші, враховуючи більшість розглянутих факторів. Крім того, оскільки більшість паркувальних місць зазвичай розташовані в громадських місцях, слід також враховувати фактори приватності та безпеки.

1.3 Використання технологій розумних парковок в Україні та світі

У ході проведення дослідження було проаналізовано використання технологій, зазначених у таблиці 1.1, для реалізації розумних парковок в Україні та за її межами. Результати аналізу наведені у таблиці 1.2.

З таблиці 1.2 можна зробити висновки, що найчастіше використовуваною технологією для реалізації розумної парковки є магнітний або інфрачервоний датчик та камера.

Таблиця 1.2 – Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

Назва	Використана технологія	Місце розташування	Короткий опис
SoftServe	Камера	Львів	Розроблене рішення складається з мобільного веб-додатку, а також розміщеного на в'їзді до паркінгу LCD-дисплея. Використовуючи встановлені на даху камери, система застосовує алгоритми машинного навчання для аналізу отриманих зображень. Після обробки інформація моментально потрапляє до системи та виводиться на екран, вказуючи вільні, зайняті чи зарезервовані паркомісця.

Продовження таблиці 1.2 – Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

MPS & Lamed	Камера	Київ	<p>Система буде автоматично зчитувати номерні знаки на автомобілях, залишених на паркувальних майданчиках. Далі за допомогою спеціального додатку буде зніматися плата за паркування. Камера зможе фіксувати порушника, який не захотів оплачувати парковку, і буде автоматично посилати таким зловмисникам штрафи. Впровадження сучасних технологій допоможе правоохоронцям знаходити недобросовісних автомобілістів і карати їх за всією суворістю закону.</p>
TIBA Parking	Камера	Ізраїль та США	<p>Компанія Afcon Holdings Group є розробником системи автоматизації управління парковками. Компанія впровадила технології розпізнавання номерного знаку та автоматичної оплати стоянки. Найбільш відомі продукти компанії – система TIBA Parking, а також більш ніж 30 світових зареєстрованих патентів у сфері систем відеонагляду, паркування та «розумного» міста.</p> <p>Автоматизовану систему паркування компанії використовують у більш ніж 50 містах Ізраїлю та США.</p>

Продовження таблиці 1.2 – Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

Vodafone Smart City	Камера, датчик руху	Харків	<p>За допомогою «розумних» парковок містяни зможуть отримати інформацію щодо паркувальної інфраструктури міста, зекономити паливо та час на пошук місця для парковки, що в результаті допоможе знизити загальну завантаженість доріг.</p> <p>Також Smart Parking є надійною системою контролю оплати паркомісць, він сприятиме збільшенню доходів від надання послуги та системи оформлення штрафів за порушення правил парковки.</p>
PKLOT	Камера, датчик руху	Росія	Інтелектуальний паркомат трикутної форми здатний виявляти транспортні засоби, що в'їжджають на місце для паркування з будь-якого боку, і за допомогою системи розпізнавання номерних знаків автоматично виставляти рахунок за паркування.

Продовження таблиці 1.2 – Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

Tech StartUp School	Невідомо	Львів	<p>На розумній парковці встановлено датчики, які контролюють вільні місця на певній території. Цю інформацію користувачі можуть побачити у спеціальному додатку, який показує вільні паркувальні місця.</p> <p>Є також можливість зарезервувати стоянку на певні години.</p>
ULA Smart Parking	Камера	Київ	<p>Автоматизований програмний комплекс для роботи паркувальної інфраструктури з прозорою системою оплати та зручним керуванням. Smart Parking є надійною платформою для контролю за паркувальною інфраструктурою, що веде до збільшення прибутків завдяки різнобічним послугам та оформленню штрафів за порушення правил паркування. Система дозволить інспекторам з паркування швидко знаходити правопорушників, а мешканцям міста отримувати інформацію про паркувальну інфраструктуру, знаходити вільні місця й шлях до них за лічені секунди та у максимально зручний спосіб.</p>

Кінець таблиці 1.2 – Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

NEW YORK Concept House	RFID	Київ	На в'їзді до внутрішнього двору встановлено стійку парковки, на дисплеї якої відображається кількість вільних місць та місце, яке необхідно зайняти. Водієві потрібно мати при собі картку-ключ, яка надає доступ до автостоянки. Вбудований датчик у нижній частині стійки дистанційно зчитає інформацію картки, після чого шлагбаум автоматично відкривається. На зазначеному місці паркінгу опуститься болард та водій зможе залишити своє авто. При виїзді шлагбаум відкривається автоматично, а болард опускається до наступного паркування.
---------------------------------	------	------	---

Так як на стороні клієнта керувати розумною парковкою за допомогою мобільного додатку найзручніше, то було також проведено аналіз існуючих мобільних додатків для операційних систем Android та iOS для швидкого керування розумною парковкою. Результати дослідження наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Огляд існуючих мобільних додатків для розумного паркування

Назва	Логотип	Вільнорозповсюджуваний чи платний	Країни поширення	Опис
Smart Parking		Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна	Австралія, Уельс, Майамі (США)	Додаток «Smart Parking» доступний для завантаження як для Android, так і для iOS, і містить безліч функцій, призначених для того, щоб допомогти водіям направляти автомобілі на доступні місця для паркування, повідомляти про умови та тарифи на автостоянці, а також використовувати безконтактні платежі.

Продовження таблиці 1.3 – Огляд існуючих мобільних додатків для розумного паркування

<p>4Park Smart Parking App</p>		<p>Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна</p>	<p>Італія</p>	<p>Доступна для Android та iOS та дозволяє взаємодіяти з усіма системами Smart Parking. Це дозволяє виконувати операції – оплатити та забронювати паркувальне місце, отримати спеціальні дозволи (ділові, туристичні автобуси, для інвалідів), паркування автомобіля, проїзд до безкоштовної стоянки, віртуалізація карток та оплата за паркування.</p>
<p>Smart Parking Tauron</p>		<p>Додаток безкоштовний, парковка безкоштовна для співробітників компанії</p>	<p>Польща</p>	<p>Корпоративний мобільний додаток на базі Android та iOS для розумного паркування компанії</p>

Продовження таблиці 1.3 – Огляд існуючих мобільних додатків для розумного паркування

GCC Smart Parking		<p>Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна</p>	<p>Ченнаї, Індія</p>	<p>GCC Smart Parking розроблено з кількома функціями технології автоматизованого паркування, опцію живого чату для розміщення запитів, пов'язаних з платежами, історією бронювання, політикою скасування. Оплату за бронювання можна здійснювати з їхніх телефонів за допомогою інтернет-банкінгу. У разі скасування, сума автоматично повертається на банківський рахунок користувача. Доступний для Android та iOS</p>
Parko Ia-Smart Parking Solution		<p>Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна</p>	<p>Саудівська Аравія</p>	<p>Мобільний додаток на базі iOS, що надає послугу бронювання місць для розумної парковки.</p>

Кінець таблиці 1.3 – Огляд існуючих мобільних додатків для розумного паркування

Parko pedia		безкош товно	89 країн світу	Мобільний додаток на базі iOS та Android, який надає всю необхідну інформацію про процес паркування (Parking + Wikipedia= Parkopedia)
Безко штовна парковка		безкош товно, містить рекламу в додатку	По всьому світу	Мобільний додаток на базі Android, який допоможе користувачеві знайти найближче безкоштовне або дешеве місце для паркування навколо користувача або за певною адресою
Park Man		безкош товно	Фі нляндія, Данія, Швеція, Італія, Литва, США	Додаток для паркування для пошуку та оплати паркування для Android та iOS

1.4 Постановка задачі та вибір технологій для реалізації

Оскільки кількість автомобілів швидко зросла протягом останніх кількох років (рисунок 1.3), збільшується потреба у місцях для паркування та пошуку. Якщо припустити, що кожен день середній водій витрачає на пошуки такого місця 20 хвилин, то це приблизно 120 годин на рік, які можна витратити на щось більш корисне.

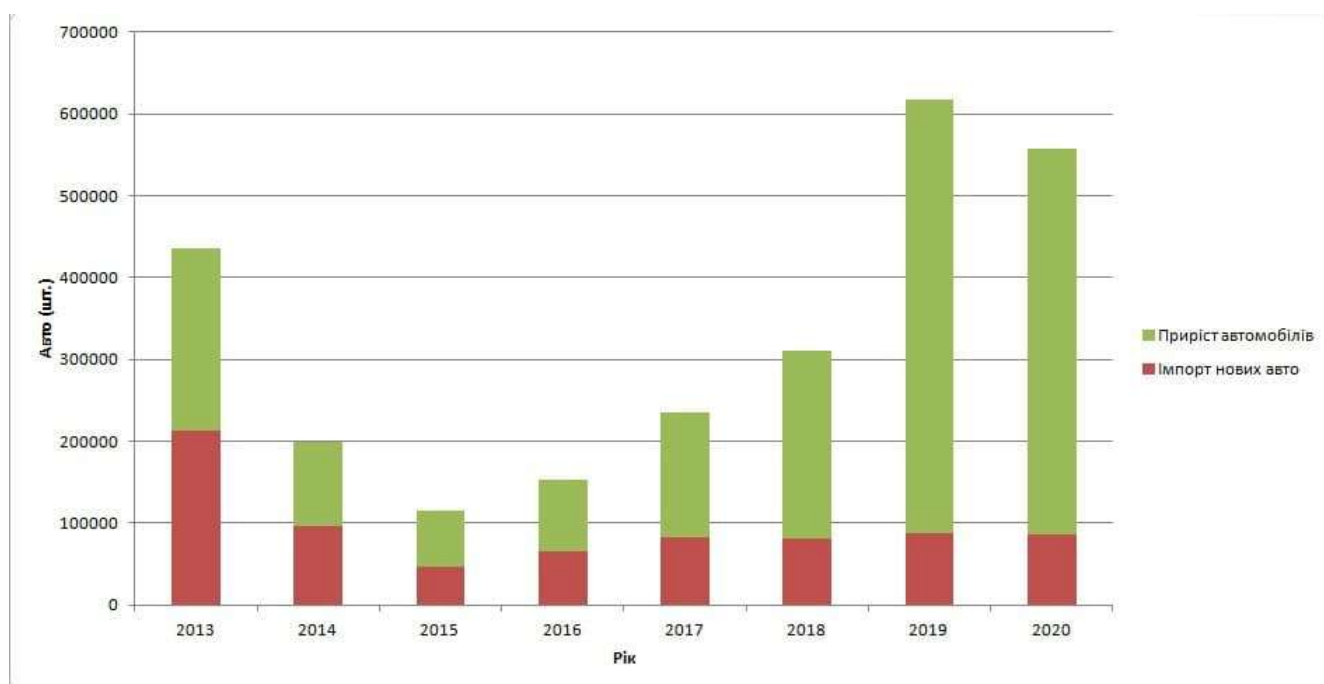


Рисунок 1.3 - Приріст кількості транспортних засобів в Україні

Як видно з рисунка 1.3, загальне збільшення кількості транспортних засобів включає імпорт нових автомобілів (червона частина колонки) та вживаних автомобілів, ввезених з-за кордону (зелена частина колонки). При цьому помітно, що з 2016 по 2020 рік імпорт нових автомобілів залишається приблизно на тому ж рівні, але частка імпорту вживаних автомобілів поступово збільшується. Це пов'язано зі змінами в законодавстві щодо розмитнення автомобілів, що ввозяться з-за кордону, а саме 25 листопада 2018 року прийнято закон про спрощення процедури розмитнення ввезених з-за кордону вживаних автомобілів[1].

Щоб розробити наш прототип розумного паркування, першим кроком є дослідження необхідних функцій і вимог, які є важливими для цього типу системи. Дослідження цих функцій і вимог дозволить зрозуміти процес розробки всієї системи.

Для встановлення камери в загальнодоступній зоні потрібен дозвіл на камеру відеоспостереження. Важливим фактором, який слід враховувати, є проблема конфіденційності, яка слідує за рішеннями на основі бачення.

Надсилання зображень на сервер або хмарний сервіс через Інтернет також супроводжується проблемами безпеки. Щоб вирішити цю проблему безпеки, можна використовувати певний процес шифрування. Усі ці обмеження можуть негативно вплинути на зручність використання системи. Виконання завдань з обробки зображень у місці, де зображення фіксуються без зберігання чи надсилання будь-яких даних зображення через Інтернет, може допомогти уникнути цих проблем, згаданих вище. Отже, аспект конфіденційності та безпеки слід розглядати як вимогу інтелектуального рішення для паркування.

Щоб побудувати динамічну розумну систему паркування, місця для паркування мають визначатися автоматично. Це завдання можна виконати за допомогою алгоритму виявлення об'єктів. Вибраний підхід для виявлення паркувальних місць – виявлення транспортних засобів за допомогою технології глибокого навчання. Вибраний підхід заснований на його простоті виявлення паркувальних місць на стоянці.

Інший підхід, який можна використовувати для виявлення місць для паркування, - це визначення лінії. Однак у цього підходу є деякі недоліки, тобто лінії можуть з часом стиратися або розмиватися або просто покриватися снігом.

Метою передачі даних в системі є передача даних на сервер, де можна зареєструвати інформацію про паркування. Передані дані мають на меті надати інформацію про стан паркінгу, тобто про те, скільки паркувальних місць доступно і скільки з цих місць для паркування незайнятих.

Апаратне забезпечення, яке можна використовувати в цій системі, складається з трьох різних частин: частини камери, частини комп'ютера та

частини інтерфейсу користувача. Метою камери є зйомка зображень стоянки та відправка їх на бортовий комп'ютер. Призначення комп'ютера – виконувати обчислення та обробку зображень, отриманих з камери, для виявлення місць для паркування. Пристрій передачі використовується для передачі інформації про автостоянку на сервер, наприклад, ідентифікатор парковки, кількість доступних місць і кількість незайнятих. Частина інтерфейсу користувача може бути розроблена у вигляді мобільного додатка. Після виявлення місця для паркування, реалізації обраної техніки передачі даних і вибору обладнання, необхідно інтегрувати ці частини в одну систему.

1.5 Висновки

Отже, у першому розділі було проаналізовано стан сучасного програмного забезпечення, а також стан існуючих методів та рішень в галузі розумного міста. Детально розглянуто екологічну та економічну необхідність у таких рішеннях, наголошено на ключових соціальних компонентах ланцюга визначення місця розумної парковки у сучасному середовищі Smart City.

Перераховані існуючі методи виявлення паркування, визначені недоліки та переваги кожної з них, що допоможе визначитись з найбільш ефективною технологією в подальшому.

Наведені приклади вже працюючих систем розпізнавання автомобілів, а також їх практичний аспект реалізації. Вже існуючі додатки для зв'язку водіїв з функціоналом систем розумних парковок були детально проаналізовані, та оцінені за відгуками реальних користувачів. Кількість таких інструментів постійно зростає, однак необхідність дешевого, надійного та зручного способу визначення вільного місця для парковки не стає менше.

Досліджені необхідні функції і вимоги, які є важливими для розуміння процесу розробки всієї системи цього типу. Взято до уваги фактор конфіденційності. Створено діаграми вимог, та на її основі представлено потік

розбивки проблеми, щоб отримати загальне уявлення про різні підпроблеми системи.

Крім того, на основі проведених досліджень, було виявлено, що дана робота є актуальною, так як актуальною є проблема витрати часу на пошук вільного паркінгу для автомобілів у великих містах, особливо, у мегаполісах.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ

2.1 Алгоритм для розпізнавання зображень на основі нейронної мережі

Розглянемо систему для розумної парковки, яка складається з наступних компонентів апаратно-програмного забезпечення, яка зображена на рисунку 2.1.

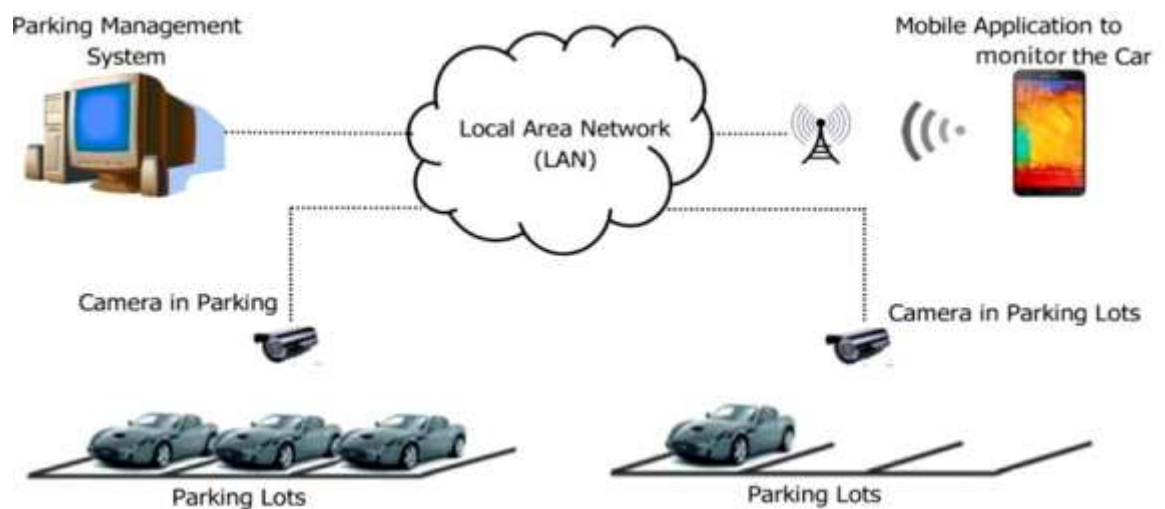


Рисунок 2.1 - Модель запропонованої системи Smart Parking [8]

Як видно з моделі, камера є основним інструментом, який виконує аналіз стану паркувального місця. Тому виявлення вільних або зайнятих місць є важливою проблемою для розвитку такої системи Smart Parking. Виявлення об'єктів за допомогою глибокого навчання Глибоке навчання – це підмножина машинного навчання (ML), де воно використовує нейронні мережі з кількома шарами для навчання на шаблонах. Незважаючи на останні досягнення глибокого навчання, у цій області ще багато чого можна внести та покращити. Використання глибокого навчання в рішеннях на основі бачення в останні роки широко використовується для розпізнавання об'єктів. Глибоке навчання працює таким чином, що вимагає навченої моделі, перш ніж можна буде класифікувати об'єкти [6]. Нейронна мережа в глибокому навчанні складається з трьох основних шарів:

вхідного, прихованого та вихідного. Вхідний рівень споживає інформацію, у разі розпізнавання зображення це будуть дані зображення. На наступному кроці вузли зважуються в прихованому шарі, а потім обробляються у вихідному шарі, які повертають результат класифікації на основі ваг [6]. Представлення нейронної мережі зображене на рисунку 2.2.

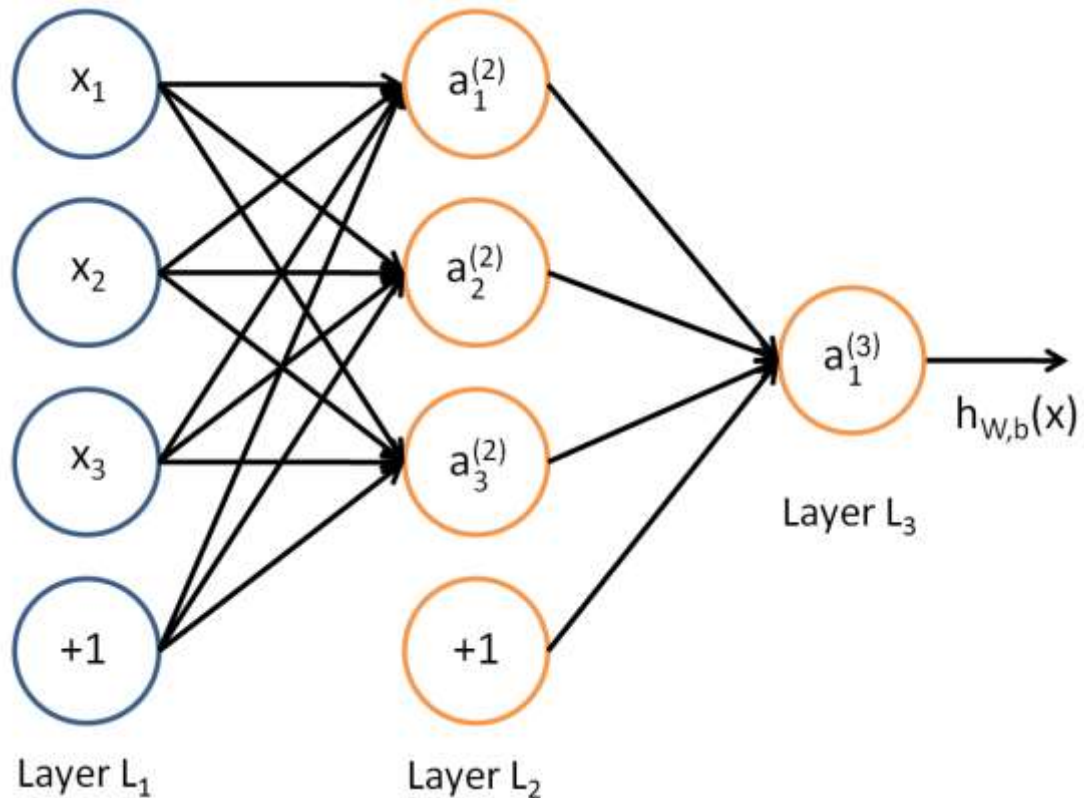


Рисунок 2.2 – Схема використовуваної нейронної мережі[6]

Під час роботи з рішенням на основі бачення, де потрібне розпізнавання об'єкта, згорткова нейронна мережа (CNN) може допомогти ефективно розпізнавати шаблони на зображенні. Amato та інші [5] описують, що величезна кількість прихованих шарів у CNN використовується для того, щоб обробляти вхідні дані та надавати результат як вихід. Велика кількість прихованих шарів покращує точність виявлення при вирішенні того, які розпізнані об'єкти, що призводить до виходу.

Згорткова нейронна мережа (CNN) – це алгоритм глибокого навчання, який є підкласом нейронної мережі. Архітектура CNN використовується в основному

для виявлення об'єктів у зображеннях, оскільки вона сконструйована для обробки зображень великого розміру, з якими звичайна нейронна мережа не обробляє.

Це можливо завдяки тому, що архітектура CNN обробляє зображення як обсяги, що складаються з глибини, ширини та висоти. Коли дані передаються між вхідним шаром до прихованих шарів, дані обробляються та фільтруються між шарами за допомогою нейронів, які намагаються знайти закономірності в цих зображеннях.

Навчання даних є важливою вимогою для підходу CNN. Перед початком виявлення об'єкта необхідно зібрати набір даних, який містить зображення потрібного об'єкта. Об'єкти на зображеннях слід визначати, позначаючи кожен об'єкт окремо. Після процесу маркування набір даних готовий до навчання. Під час навчання дані фільтруються в прихованих шарах, щоб знайти та вказати, які подібні шаблони поділяють усі зображення. Ці шаблони є параметрами, які забезпечують конкретний опис об'єкта/об'єктів; параметри, які допомагають дізнатися, як виглядає конкретний об'єкт.

Тим не менш, навчання моделі для класифікації об'єктів може бути дуже дорогим з точки зору обчислень і часу. Це пов'язано з кількістю ітерацій, необхідних для того, щоб мережа знайшла і зрозуміла шари в нейронній мережі, що вимагає пристойного графічного блоку для виконання навчання [9].

Кластеризація зазвичай використовується в ML, і вона корисна для класифікації об'єктів, які не мають міток.

Кластеризація – це метод навчання без нагляду, тобто дані, які не позначаються, тому алгоритм кластеризації позначає дані, додаючи подібні дані разом в одному кластері. Це можливо, обчисливши відстань між різними точками даних, а потім пов'язавши подібні дані разом. Крім того, кластеризація корисна для виявлення аномалій у даних, запобігаючи впливу на кластери викидів у даних, які могли бути зібрані через вимірну помилку [6].

Ідея обробки зображень полягає в тому, щоб інтерпретувати зображення, щоб отримати важливу інформацію, необхідну для бажаної мети. Це можна

порівняти з людським оком і сприйняттям, які допомагають людині отримати наочний образ світу і зрозуміти стан навколишнього середовища.

Мета обробки зображень полягає в тому, щоб повторити ту саму функцію, але замість цього використовувати її в машинах. Сьогодні обробка зображень широко використовується в різних сферах, таких як перевірка несправностей в електронних схемах, медична діагностика або відстеження об'єктів для цілей спостереження [7].

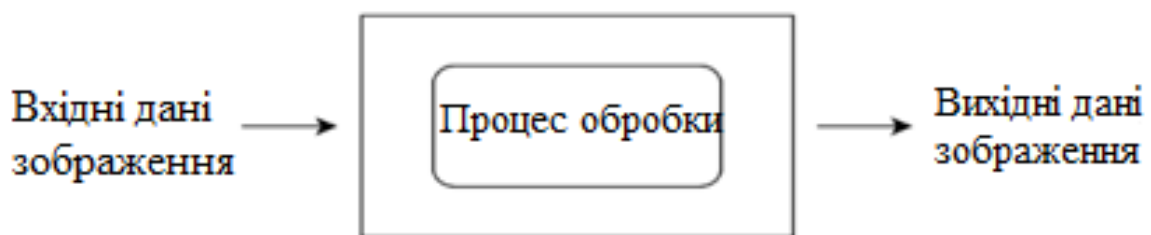


Рисунок 2.3 – Схема обробки зображення [9]

Таким чином, запропонована система буде базуватися на техніці глибокого навчання CNN, яка використовуватиметься для створення програмного забезпечення для розпізнавання зображення паркувального місця та визначення того, чи є воно вільним чи зайнятим.

Отже, запропонований метод розпізнавання зображень на основі нейронної мережі складається з наступних кроків:

- 1) Зробити зображення паркувального майданчика за допомогою камери;
- 2) Розділити кожен кадр на сектори, де кожен із секторів містить одне паркувальне місце;
- 3) Класифікувати кожен сектор, використовуючи навчену ЗНМ, щоб вирішити, зайняте місце для паркування чи ні.

Незважаючи на останні досягнення глибокого навчання, у цій області ще багато чого можна внести та покращити. Використання глибокого навчання в рішеннях на основі бачення в останні роки широко використовується для

розпізнавання об'єктів. Глибоке навчання працює таким чином, що вимагає навченої моделі, перш ніж можна буде класифікувати об'єкти.

Тому, враховуючи вищезгаданий аналіз, найефективнішими були виявлені дві нейромережі – OpenCV та Google Cloud Vision API.

2.2 Використання технології комп'ютерного зору OpenCV для розпізнавання автомобілів

Однією з популярних технологій для розпізнавання зображень є бібліотека комп'ютерного зору OpenCV [2].

Цей набір інструментів служить так званою інфраструктурою для застосування методів комп'ютерного зору в інформаційних системах.

OpenCV використовується, серед іншого, для зміни розміру вхідних зображень, перетворення їх у векторну форму та виявлення особливостей цільових об'єктів у зображенні. Водночас одним із найпопулярніших підходів до виявлення особливостей зображення на сьогодні є глибоке навчання, зокрема згортова нейронна мережа (ЗНМ) [3].

Модель ЗНМ представлена як комбінація багатьох функціональних операцій, яка перетворює вхідне зображення як вектори ознак в отримані дані як оцінку належності ідентифікованих об'єктів до попередньо визначених класів.

Приклад використання технології OpenCV для розпізнавання зображення автомобіля представлений на рисунку 2.4.

На сьогодні (2022 рік), згортова нейронна мережа (ЗНМ) є найчастіше використовуваним механізмом для моделювання та розпізнавання візуальних образів. Цьому посприяло те, що численні дослідження та обчислювальні експерименти підтвердили ефективність згортової операції (що є основою ЗНМ) для виявлення візуальних ознак на цифровому зображенні.

Крім того, доступними є багато готових до роботи програмних рішень із відкритим кодом (великі платформи, фреймворки, бібліотеки, реалізовані функції тощо), що дають змогу за короткий час реалізувати будь-яку архітектуру ЗНМ.



Рисунок 2.4 – Приклад використання технології OpenCV для розпізнавання зображення автомобіля [6]

2.3 Використання технології на базі Google Cloud Vision API для розпізнавання автомобілів

Іншою не менш відомою технологією розпізнавання зображень є Google Cloud Vision API (GCV API) [4]. API GCV – це де-факто набір підготовлених моделей і алгоритмів машинного навчання, які можуть бути легко реалізовані користувачами послуг для задоволення їхніх бізнес-потреб. Принцип GCV API полягає у виконанні двох кроків:

- 1) присвоєння міток вихідному зображенню;
- 2) автоматичне розпізнавання об'єктів на зображенні за попередньо визначеними класами. GCV API – це універсальний класифікатор, який ідентифікує різноманітні рухомі та нерухомі об'єкти на зображенні.

Головні функції GCV API:

- 1) Label Detection – розпізнавання класу якого відноситься зображення, детектування того, що зображено на зображенні: котики, собачки, слоники і.т.д.
- 2) OCR – розпізнавання тексту;
- 3) Explicit Content Detection - розпізнавання будь-якого поганого чи страшного контенту;
- 4) Facial Detection - розпізнаванн осіб, рис обличчя, особливих точок на обличчях;
- 5) Landmark Detection - розпізнаванн геолокації по фотографії;
- 6) Logo Detection - розпізнаванн символів та значків.

Найчастіше використовуваними функціями є Label Detection, ORC, Facial Detection. Також GCV API часто використовується для розпізнавання етикетки продукту. Так чи інакше, цією функцією від Google користуються всі. Пошук за картинкою на google.com використовує саме її. Насправді, Label Detection дає зображенням параметри. Характеристикою може бути об'єкт, зображений на фото. Може бути стиль фотографії, наприклад "Макро", "Портрет", "Чорно-біле". А може бути і щось спільне: «ботанічний об'єкт», «атмосферний феномен». Окрім пошуку ця функція може вирішити завдання: сортування бази зображень,

підписи тегів до якогось фотобанку, аналіз інтересів за фотографіями і т.д. Однією з головних особливостей технології Cloud Vision API і переваг водночас є можливість розпізнавання декількох предметів різної природи на одному зображенні. На рисунку 2.5 продемонстровано, що одночасно ідентифікованими є двері, рамка, велосипед та два велосипедних колеса.



Рисунок 2.5 – Приклад розпізнавання багатьох об’єктів одночасно з використанням технології GCV API

Але, як не дивно, саме в цьому напрямку у Google є безліч конкурентів: Microsoft . вміє досить непогано описувати, що відбувається на зображенні, а не тільки його складову частину. Немає онлайн-демонстраційного зразка, щоб порівняти [5].

2.4 Математична модель глибинного навчання нейронної мережі

Для проведення обчислювальних експериментів потрібно спершу розробити математичну модель глибинного навчання нейронної мережі.

Нейрон – це блок математичних операцій, що зв'язують сутності. Багатoshарова нейронна мережа – це тип прямої формальної нейронної мережі, організованої в кілька шарів, в яких інформація перетікає від вхідного рівня до вихідного. Кожен шар нейронної мережі складається з певної кількості нейронів, ми розрізняємо:

1. Вхідний шар.
2. Приховані шари.
3. Вихідний шар.

На рисунку 2.5 представлено нейронну мережу з 5 нейронами на вході, 3 у першому прихованому шарі, 3 у другому прихованому шарі та 2 на виході.

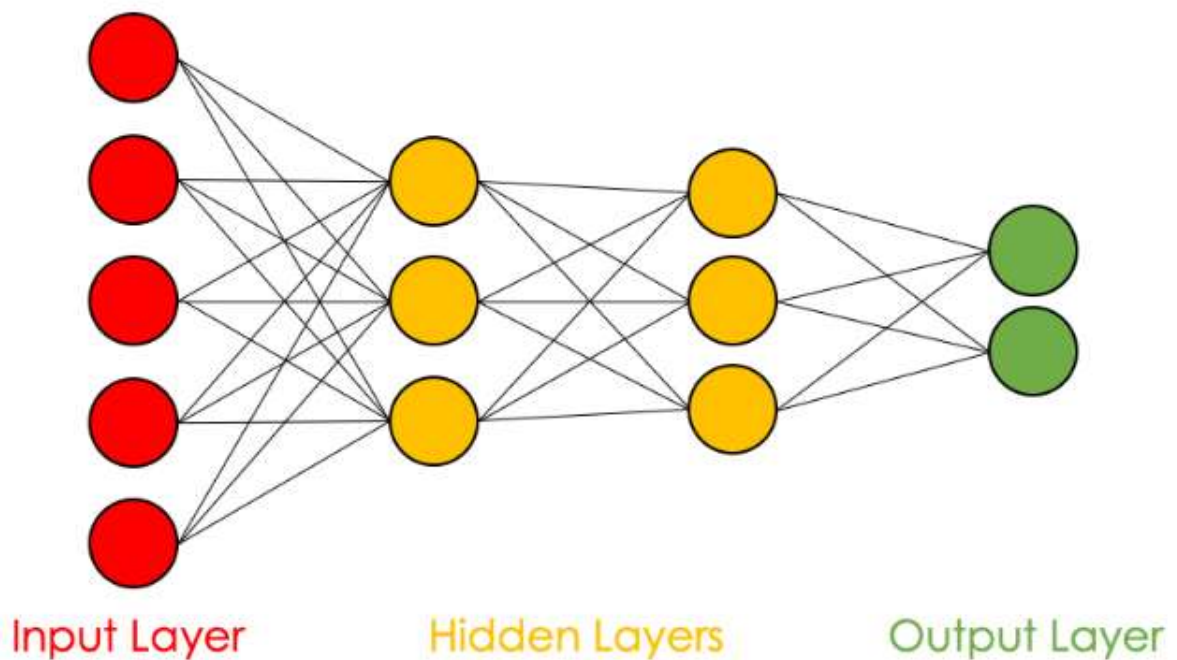


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення багатoshарової нейронної мережі[65]

Опишемо наведену на рисунку 2.5 багатoshарову нейронну мережу за допомогою математичних формул:

$$Z = \sum_i w_i * x_i + b \rightarrow a = \psi(Z) \text{ \& } y = a \quad (2.1)$$

Кожен нейрон розділений на два основних блоки:

- 1) обчислення Z використовуючи вхідні x_i :

$$Z = \sum_i w_i * x_i + b \quad (2.2)$$

2) обчислення a , яке прирівнюється до u на вихідному шарі з використанням Z :

$$a = \psi(Z) \quad (2.3)$$

Символом W_i позначено ваги нейронів, b – це зв'язки, а ψ називається функцією активації.

Деякі змінні в прихованих шарах можна інтерпретувати на основі вхідних властивостей: у випадку ціни житла та при припущенні, що перший нейрон першого прихованого шару приділяє більше уваги змінним x_1 et x_2 це може бути інтерпретується, наприклад, як кількісна оцінка параметрів, які розраховуються за допомогою штучної нейронної мережі.

Навчання в нейронних мережах - це етап обчислення вагових значень параметрів, пов'язаних з різними регресіями по всій мережі. Іншими словами, ми прагнемо знайти найкращі параметри, які дають найкращий прогноз (апроксимацію), починаючи з вхідних даних, реального значення.

Для цього ми визначаємо цільову функцію, яка називається loss function і позначена J , яка кількісно визначає відстань між реальними і прогнозованими значеннями в загальному навчальному наборі.

Ми мінімізуємо J , виконавши два основних кроки:

- 1) Пряме поширення: ми поширюємо дані по мережі або повністю, або пакетами, і обчислюємо функцію втрат для цього пакету, яка є не що інше, як сума помилок, скоєних на передбаченому виводі для різних рядків.
- 2) –Зворотне поширення: складається з обчислення градієнтів функції вартості щодо різних параметрів, а потім застосування алгоритму спуску для їх оновлення.

Ми повторюємо той самий процес кілька разів, який називається epoch number – кількість кроків циклу, за якого ваги параметру θ функції J (функції

вtrat) будуть оновлюватися в результаті виконання оптимізаційного алгоритму. В ідеальному випадку значення θ повинні забезпечувати найменше з можливих значень функції J . Після визначення архітектури алгоритм навчання записується так:

1. Ініціалізація параметрів моделі: для $i=1,2\dots N$, де N – кількість кроків циклу.
2. Здійснити процес прямого поширення: $\forall i$ порахувати передбачуване значення x_i : по всій нейронній мережі y_i^θ .
3. Обчислити функцію $J\theta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(y_i^\theta, y_i)$,
де m – це розмір мережі, яку навчають,
 θ - це параметри моделювання,
 L - це ціна функції.
4. Здійснити процес зворотнього поширення: застосувати метод спуску для оновлення параметрів $\theta = G(\theta)$.

Комп'ютерний зір – це підсфера глибокого навчання, яка має справу з зображеннями в усіх масштабах. Це дозволяє комп'ютеру обробляти й розуміти вміст великої кількості зображень за допомогою автоматичного процесу.

Основною архітектурою комп'ютерного зору є згортка нейронна мережа, яка є похідною від нейронних мереж із прямим зв'язком. Його застосування дуже різноманітне, наприклад, класифікація зображень, виявлення об'єктів, передача нейронного стилю, ідентифікація обличчя

Перша обробка зображень була заснована на фільтрах, які дозволяли, наприклад, отримати краї об'єкта на зображенні за допомогою комбінації фільтрів по вертикалі та горизонталі.

Математично кажучи, фільтр вертикальних країв, VEF, може бути визначено таким чином:

$$VEF = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = {}^T HEF \quad (2.4)$$

Де HEF означає фільтр горизонтального краю.

Для простоти ми розглядаємо зображення A у відтинках сірого 6×6 , 2D-матрицю, де значення кожного елемента представляє кількість світла у відповідному пікселі.

Щоб витягти вертикальні ребра з цього зображення, ми виконуємо згортковий добуток (\star), який в основному є сумою поелементного добутку в кожному блоці. Матриця навчання згорткової наведена на рисунку 2.7.

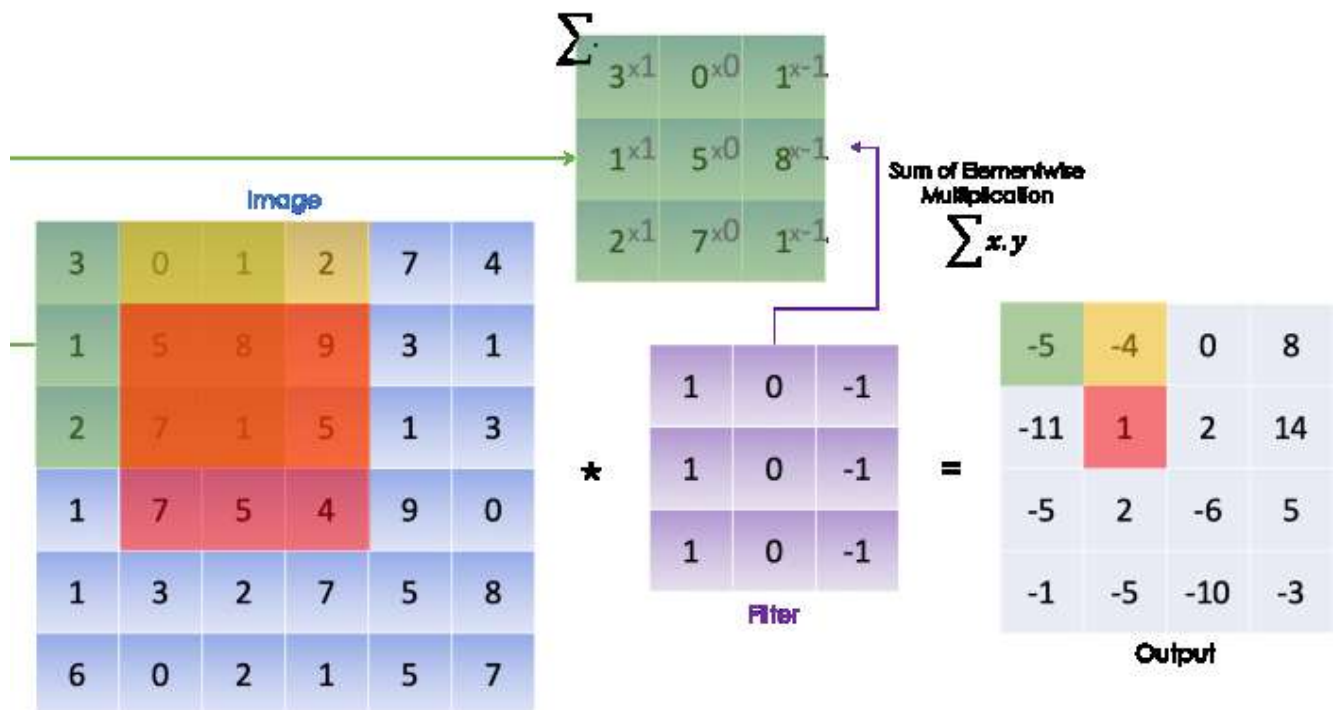


Рисунок 2.7 – Матриця навчання згорткової нейронної мережі

Згорткова нейронна мережа — це серія згорткових і об'єднаних шарів, які дозволяють виділити основні характеристики із зображень, що найкраще відповідають кінцевій цілі.

Перш ніж чітко визначити добуток згортки, ми почнемо з визначення деяких основних операцій, таких як відступ і крок.

Як ми бачили у згортковому продукті з використанням фільтра вертикальних країв, пікселі в кутку зображення (2D-матриця) використовуються

менше, ніж пікселі в середині зображення, що означає, що інформація з країв викидається. .

Щоб вирішити цю проблему, ми часто додаємо заповнення навколо зображення, щоб врахувати пікселі по краях. Умовно ми `paddez zeros` позначаємо рпараметром заповнення, який представляє кількість елементів, доданих на кожній із чотирьох сторін зображення.

Рисунок 2.8 демонструє ілюструє заповнення зображення у відтінках сірого (2D-матриця), де $p=1$:

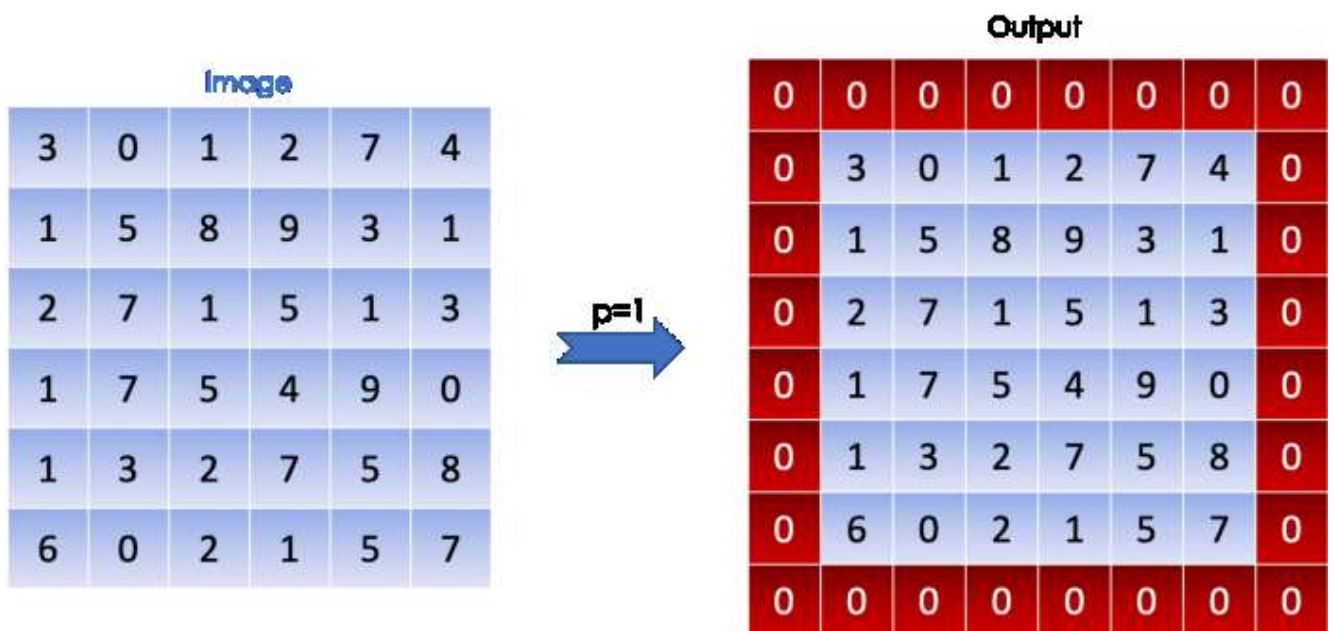


Рисунок 2.8 – Приклад заповнення цільового зображення за допомогою згорткової нейронної мережі[66]

Крок - це крок, зроблений у згортковому добутку. Великий крок дозволяє зменшити розмір виходу і навпаки. Позначимо спараметр кроку.

Наступне зображення ілюструє згортковий добуток (сума поелементних елементів на блок) з $s=1$. Після того, як ми визначили крок і заповнення, ми можемо визначити добуток згортки між тензором і фільтром[66].

Після попереднього визначення добутку згортки на 2D-матриці, яка є сумою елементарних добутоків, тепер ми можемо формально визначити добуток згортки на об'ємі. Зображення, загалом, можна математично представити у вигляді

тензора з такими розмірамию Формула 2.5 використовується для обчислення добутку об'ємної згортки:

$$\text{Dim}(\text{image}) = (n_H, n_W, n_C), \quad (2.5)$$

Де n_H - висота,

n_W - ширина,

n_C - кількість каналів.

У випадку зображення RGB, наприклад, $n_C=3$, ми маємо червоний, зелений і синій. Умовно ми вважаємо фільтр K таким, що дозволяє кожному пікселю бути центрованим у фільтрі і, таким чином, розглядати всі елементи навколо нього. Також він має ще один параметр f

Під час роботи зі згортковим продуктом фільтр/ядро K повинен мати таку саму кількість каналів зображення, тому ми застосовуємо інший фільтр до кожного каналу. Розмір фільтра обчислюється за формулою 2.6:

$$\text{Dim}(\text{filter}) = (f, f, n_C) \quad (2.6)$$

Між згортковим добутком зображення і фільтром є параметр a , 2D-матриці, де кожен елемент є сумою поелементного множення куба (фільтра) і підкуба даного зображення, як показано на рисунку 2.9. [66]

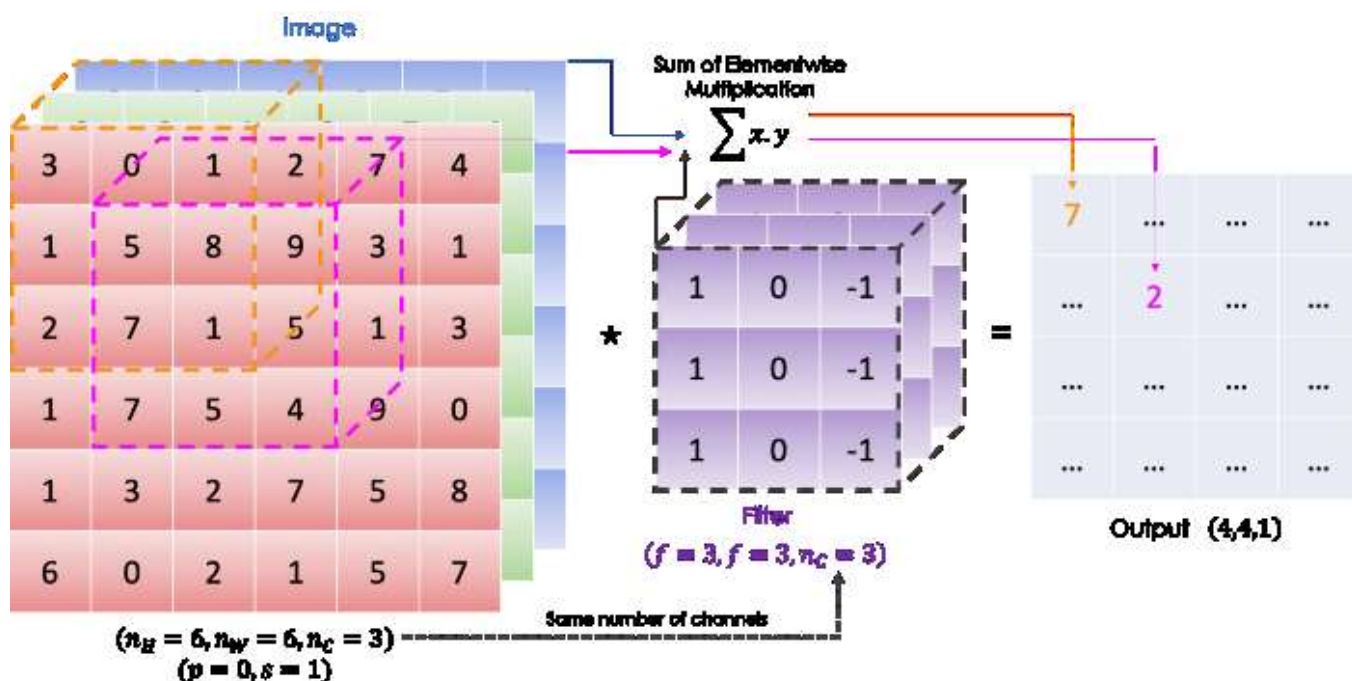


Рисунок 2.9 – Кубічна матриця згорткової нейронної мережі[66].

Математичне представлення для заданого зображення та фільтра зображено за допомогою формули 2.7:

$$\text{Conv}(I, K)x, y = \sum_{i=1}^{n_H} \sum_{j=1}^{n_W} \sum_{k=1}^{n_C} K_{i,j,k} I_{x+i-1, y+j-1, k} \quad (2.7)$$

2.5 Проведення обчислювальних експериментів та визначення точності класифікації для обраних технологій

Для визначення технології, яка буде використовуватись в подальшому для розробки методу та моделі для ідентифікації зображень автомобілів на розумній парковці було проведено експеримент.

Експеримент полягав у тому, щоб визначити яка із описаних у підрозділах 2.2 та 2.3 технологій краще впорається з розпізнаванням зображень автомобілів на фотознімку, зробленому на реальній парковці з камери зовнішнього спостереження.

Для експерименту використано зображення з однієї з камер відеоспостереження однієї із автостоянок Хмельницького національного університету.

Зображення було зроблене взимку, коли розмітка паркомайданчика не видима для камери через сніг, що робить процес ідентифікації складнішим, так як нейронна мережа орієнтується лише на контури самого зображення автомобіля, а не на контури паркомісця.

Тестове зображення показано на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 - Зображення стоянки, зроблене камерою зовнішнього спостереження

Перед проведенням експерименту зображення попередньо має бути підготовлені, а саме контури зображення обрізані, щоб максимально наблизити фокус до місця розташування автомобілів.

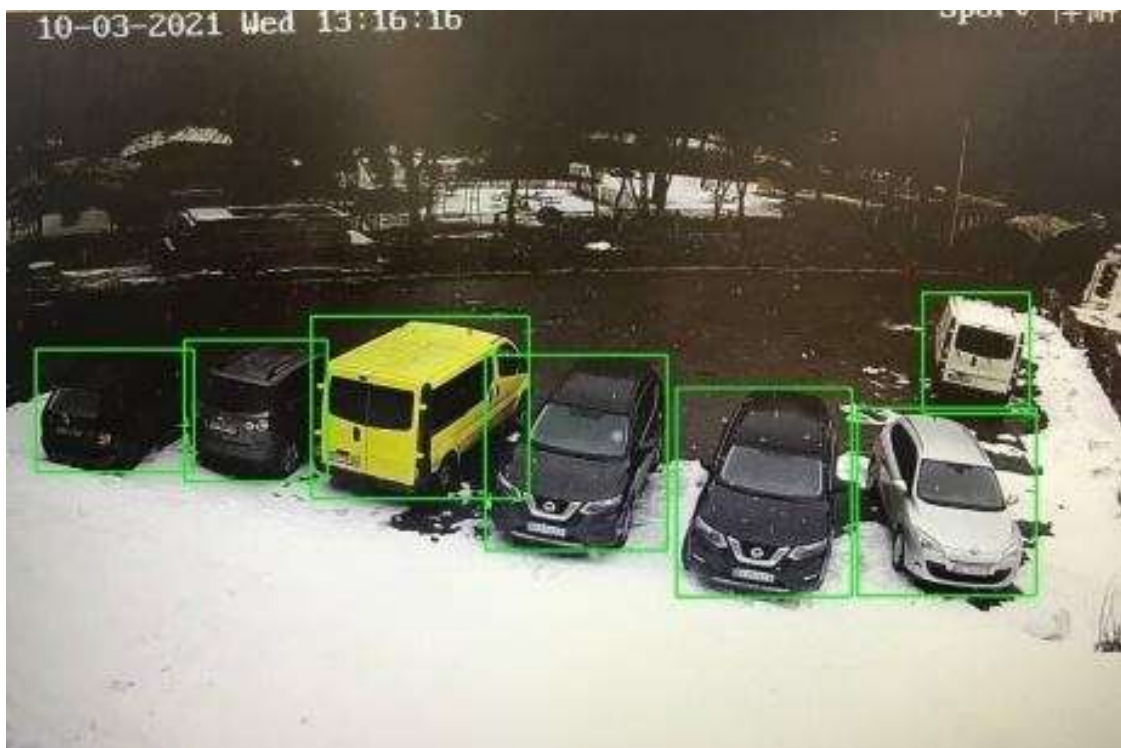
Крім того, об'єкти на зображенні потрібно збільшити, щоб збільшити ймовірність знайти шуканий об'єкт, а саме автомобіль в даному випадку.

Експеримент полягав у перевірці одного і того ж зображення за допомогою двох найпопулярніших технологій розпізнавання зображень, а саме бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV в комбінації зі згортковою нейронною мережею та Google Cloud Vision API.

Результати ідентифікації об'єкта на цільовому зображенні, виконаної за технологіями OpenCV + ЗНМ та GCV API, наведені на рисунку 2.11 [3].



а)



б)

Рисунок 2.11 - Ідентифіковані об'єкти на цільовому зображенні, які відповідають обшукуваним автомобілям, знайдені за допомогою:

а) OpenCV + ЗНМ; б) API GCV

На рисунку 2.11 видно, що технологія GCV API набагато краще справлялася із завданням ідентифікації автомобілів на зображенні (рис. 2.5а), ніж технологія OpenCV + ЗНМ (рис. 2.5б).

Чисельні оцінки обчислювальних експериментів, отримані за допомогою OpenCV + ЗНМ і GCV API, наведені в таблиці 2.1[3].

Таблиця 2.1 – Точність остаточної класифікації для кожної категорії

Технологія	Точність класифікації,%
OpenCV+ЗНМ	58.9
GCV API	77,08

За результатами обчислювальних експериментів, представлених у таблиці 2, можна зробити висновок, що система GCV API досягла більш високого значення точності класифікації, ніж комбінація інструментів OpenCV + ЗНМ. Тому було вирішено використати його для подальших досліджень.

2.5 Висновки

Отже, у ході дослідження було проведено огляд технологій для розпізнавання зображень на основі штучних нейронних мереж. За результатами дослідження було виділено дві найпопулярніші та найчастіше використовувані технології, а саме OpenCV в комбінації зі згортковою нейронною мережею та Google Cloud Vision API.

Для визначення, яку з вказаних вище технологій ми будемо використовувати для подальших досліджень, було проведено експеримент, а саме протестовано ці технології на цільовому зображенні. Результати експерименту показали, що технологія GCV API набагато краще справлялася із завданням ідентифікації автомобілів на зображенні, ніж технологія OpenCV + ЗНМ з числовими оцінками точності класифікації 58,9% та 77,08% відповідно.

Отже, для подальшої роботи та для вдосконалення методів розпізнавання зображень було обрано технологію GCV API.

3 МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Збір та підготовка тестових даних для інформаційної моделі

Сьогодні існує багато проектів розумних паркінгів, але готові до використання приклади можна перерахувати на пальцях однієї руки, а відомості про економічний аспект їх реалізації, як правило, мінімальні. Слід зазначити, що при розробці таких інструментів найважливішу фінансову частину розробки несе програмне, а не апаратне забезпечення. Розглянувши та порівнявши різні методи та підходи до розумних парковок [2], був зроблений висновок, що метод розумного паркування з використанням камер зовнішнього спостереження набагато ефективніший за інші, враховуючи більшість факторів.

Методи, засновані на технології комп'ютерного зору, складаються з дешевих камер, які охоплюють всю стоянку. Камери відеоспостереження, які використовуються для спостереження, також можна використовувати для виявлення заповненості. Зображення, зроблені з цих камер, згодом обробляються для отримання інформації про зайнятість. Однак є дві проблеми, які обмежують широке застосування методів, заснованих на баченнях.

Першою проблемою є низька точність виявлення методів на основі зору в порівнянні з методами, заснованими на підрахунку або сенсорі [3]. Цей недолік точності для методів зору може бути пов'язаний з багатьма факторами, такими як різноманітний зовнішній вигляд транспортних засобів, фактори навколишнього середовища, такі як тіні, відображення та туман (через сонце та дощ), оклюзія іншими транспортними засобами (або іншими об'єктами). в лінії огляду та спотворення через недостатній огляд камер.

Друга проблема – це розмежування паркувальних місць на зображеннях. Це розмежування не є необхідним для методів на основі лічильників, оскільки кількість місць для паркування фіксована, а для методів на основі датчиків кожне місце для паркування фізично відмежовується один раз, щоб встановити датчик. Зона паркування може бути охоплена кількома камерами, а можливо, і сотнями

камер для паркування на вулиці. Маркування кожного паркувального місця вручну – трудомістке завдання. Крім того, межі паркування можуть час від часу змінюватися. Інша пов'язана проблема виникає в районах, де місця для паркування не позначені, особливо в країнах, що розвиваються, таких як Україна. Не менш важливою проблемою є виявлення неправильно або незаконно припаркованих транспортних засобів, наприклад, коли транспортний засіб припарковано на розмітці між двома місцями або коли кілька автомобілів припарковано на великій парковці, призначеній для автобусів. Тому автоматичні способи окреслення меж паркувальних місць (або зон паркування для немаркованих паркувальних зон) дуже бажані для інтелектуальних рішень для паркування. Надійні зображення допомагають у точному виявленні паркувальних місць, і новітні методи комп'ютерного зору (CV) показали багатообіцяючі результати в цьому аспекті [4]. Таким чином, оскільки більшість паркувальних місць зазвичай розташовані в громадських місцях, слід також враховувати фактори приватності та безпеки. Отже, для досягнення мети дослідження необхідно виконати наступні завдання:

- 1) Проаналізувати сучасні технології розпізнавання зображень на основі штучних нейронних мереж.
- 2) Вибрати найбільш прийнятну технологію створення кібер-фізичної системи розумного паркування на основі камери зовнішнього спостереження паркінгу університету.
- 3) Розробити інформаційну модель для виявлення паркувальних місць та ідентифікації транспортних засобів.
- 4) Оцінити розроблену модель на наборі даних тестування.

Виявлення паркувальних місць на основі розпізнавання образів детально вивчається протягом десятиліть. Традиційні методи виявлення паркувальних місць можна розділити на лінійні [5] та на основі розмітки [6]. Методи на основі ліній спочатку виявляють лінії на зображенні навколо огляду за допомогою різних методів, таких як детектор краю Канні [7], оператор Лапласа [8] та каскад Хаара [9], а потім вони прогнозують параметри виявлених ліній за допомогою алгоритма

підгонки ліній. Геометричні обмеження, розроблені вручну, застосовуються для фільтрації та визначення місця для паркування. Подібно до методів на основі ліній, методи на основі точок розмітки спочатку знаходять точки розмітки на зображенні навколо огляду за допомогою детектора кутів Харріса [9] або підсилюючого дерева рішень [11], а потім використовують техніку відповідності шаблону [12] або комбінують виявлення лінії [13] для визначення місця для паркування. Хоча ці традиційні методи виявлення паркувальних місць дають хороші результати, вони чутливі до змін навколишнього середовища і не застосовуються до складного реального середовища.

Загалом, у таблиці 3.1 представлені гідні дослідження, які були проведені протягом останніх років, щоб знайти найкращий підхід для виявлення паркувальних місць і розпізнавання транспортних засобів.

Таблиця – 3.1 Аналіз існуючих підходів до використання технології комп'ютерного зору для розумного паркування

Джерело	Рік	Алгоритм / Модель	Переваги	Недоліки
Ошибка! Источник ссылки не найден.	2018	Deep convolutional neural network, OpenCV	Використовує координати кожного паркувального місця, отже, потрібно менше обчислень.	Функції, отримані з контрольного набору даних, можуть бути непрактичними для розпізнавання справжньої відкритої парковки.

Продовження таблиці 3.1 – Аналіз існуючих підходів до використання технології комп'ютерного зору для розумного паркування

<p>Ошибка! Источник ссылки не найден.</p>	2019	Haar Cascade, AdaBoost	<p>Машина Може бути виявлена під будь-яким кутом зору. Точність 100% для одного автомобіля Виявлення</p>	<p>При виявленні кількох автомобілів на точність впливають інші автомобілі та їх тінь, що призводить до виявлення двох автомобілів як одного об'єкта.</p>
<p>Ошибка! Источник ссылки не найден.</p>	2020	Faster R- Convolutional neural network	<p>Розмір ядер згортки та кількість шарів регулюються відповідно до характеристик паркувальних місць; коефіцієнт точності отримано на 99,63%.</p>	<p>Мережа може пропустити деякі місця для паркування, оскільки розмітка точок входу слабка, а місце для паркування менше за поріг.</p>
<p>Ошибка! Источник ссылки не найден.</p>	2020	Hough Transform, OpenCV	<p>З фіксованим розміщенням камери і без зміни інтенсивності світла отримано 100% правильний результат.</p>	<p>Зміна світла і тіні негативно впливають на класифікацію результатів.</p>

Кінець таблиці 3.1 – Аналіз існуючих підходів до використання технології комп’ютерного зору для розумного паркування

Ошибка! Источник ссылки не найден.	2021	Long short-term memory	Прогноз порожніх місць для паркування на основі системи CV та даних про паркування автомобіля в реальному часі.	Якщо автомобіль не припаркований в розглянутій області, не буде правильно визначено стан.
Ошибка! Источник ссылки не найден.	2022	Mask R-Convolutional neural network, OpenCV	На основі даних відео та зображень масштабована і відносно недорога система може виявляти порожні місця для паркування.	Точність методу може бути покращено за допомогою кращої камери та швидшого процесора.

Як видно з таблиці 3.1, підхід глибокого навчання, зокрема ЗНМ, найчастіше використовувався протягом останніх п’яти років і показав найбільш надійне розпізнавання автостоянок серед інших підходів. Наприклад, DeepPS [12] представляє перший на основі навчання конвеєр для виявлення паркувальних місць. Спочатку він використовує мережу ЗНМ для виявлення точок розмітки на зображенні навколо огляду, а потім використовує іншу ЗНМ для узгодження парних точок розмітки. DeepPS досяг багатообіцяючих результатів у різних умовах навколишнього середовища. Attentional graph CNN – це ще один двохетапний метод, який використовується для регресії орієнтації, координат і

форми точок розмітки, а на другому етапі розроблені вручну геометричні правила застосовуються для фільтрації та відповідності парних точок розмітки. Він також використовує CNN для регресії координат точок розмітки для виявлення місця для паркування.

Тому, враховуючи вищезгаданий аналіз, найефективнішими були виявлені дві технології на основі нейронних мереж – OpenCV та Google Cloud Vision API.

Однією з популярних технологій для розпізнавання зображень є бібліотека комп'ютерного зору OpenCV [17]. Цей набір інструментів служить так званою інфраструктурою для застосування методів CV в інформаційних системах. OpenCV використовується, серед іншого, для зміни розміру вхідних зображень, перетворення їх у векторну форму та виявлення особливостей цільових об'єктів у зображенні.

У той же час одним із найпопулярніших підходів до виявлення особливостей зображення на сьогодні є глибоке навчання, зокрема CNN [18]-[20].

Модель CNN поєднує багато функціональних операцій, які передають вхідне зображення як вектори ознак в результуючі дані, щоб оцінити належність ідентифікованих об'єктів до попередньо визначених класів.

Архітектура CNN, використана в цьому дослідженні, взята з попередньої роботи авторів [4] і зображена на рисунку 3.1.

Відповідно до результатів класифікації в [4], ми робимо висновок, що поєднання системи GCV API та інструментів OpenCV + CNN може досягти більш надійної продуктивності та вищої точності класифікації.

Тому для розробки кібер-фізичної системи розумного паркування було вирішено використовувати систему GCV API як детектор паркувальних місць і попередньо навчену ЗНМ як екстрактор функцій.

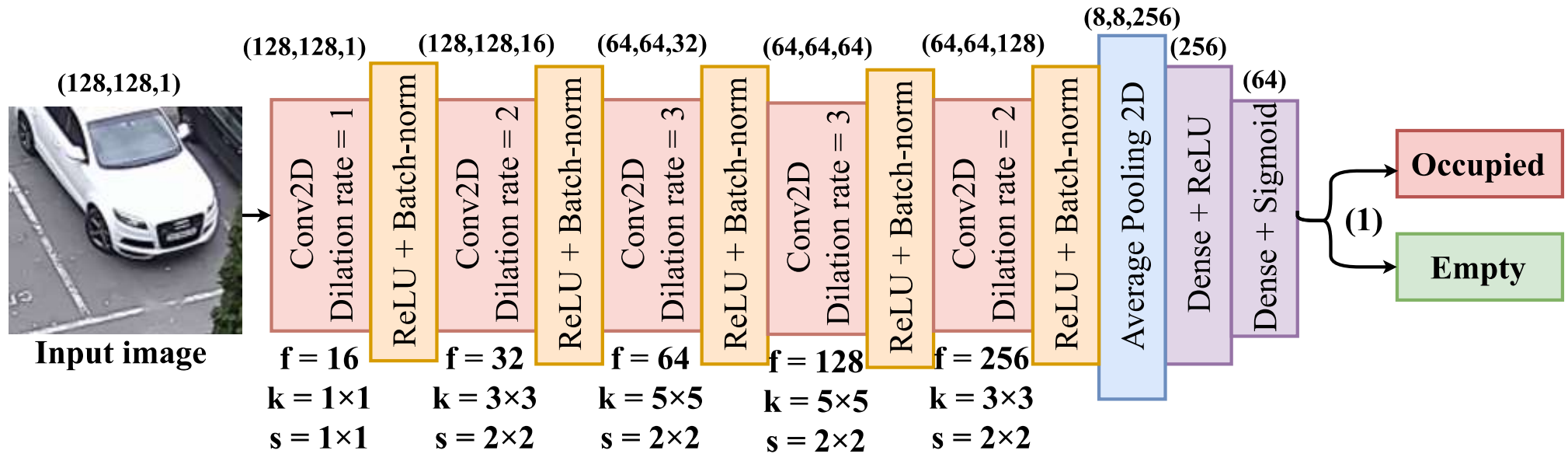


Рисунок 3.1 - Схема згорткової нейронної мережі, що використана в роботі

3.2 Інформаційна модель розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі

Для тестування роботи методу розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі було складено датасет (ХНУПаркінг) із зібраних зображень, отриманих з камер зовнішнього спостереження. Відеоспостереження встановлено на будівлі навчального корпусу №3 Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна.

На знімках зображені місця для паркування відкритої стоянки між корпусами 3 і 4 університету (рисунок 4).

Набір даних ХНУПаркінг містив 100 зображень, кожне з яких має розмір 853×480 пікселів.

Набір даних був розділений на навчальні (70%) і перевіірочні (30%) підмножини.

Крім того, для перевірки моделей класифікації була створена підмножина із 100 зображень. Також автори надали базові анотації правдивості окреслень паркувальних місць (33 місця) та зайнятості (3300) для оцінки точності.

PKLot: було зібрано підмножину вихідного набору даних PKLot [24] з 390 випадковими вибірками зображень 1280×720 пікселів.

Транспортні засоби в наборі даних PKLot були припарковані лише в орієнтації згори-вниз. Експериментальна установка: усі обчислювальні експерименти проводилися на стеку Python версії 3.8 із Keras як задньою частиною. Розрахунки проводилися на 8-ядерному Ryzen 2700 і одній графічній карті GeForce GTX1080 з 8 ГБ пам'яті.

Методологія: запропонований підхід до технології CV зображено на рис. 3.3.



а)



б)

Рисунок 3.2 - Зразки набору даних ХНУПаркінг, що представляють цільові місця для паркування: (а) – майже всі паркінги порожні, (б) – майже всі повністю зайняті

У цій роботі було використано модель нейронної мережі на основі попередньо навченої ЗНМ як екстрактора ознак і двошарового перцептрона як модуля класифікації.

Попередньо навчена ЗНМ містила 1000 класів (попередньо навчених за допомогою набору даних ImageNet).

Щоб підготувати модель для виявлення зайнятих і порожніх паркувальних місць, останні повністю підключені шари в мережі були замінені двома класами, які відповідають «Порожній» або «Зайнятий».

У цій роботі тестові моделі були оцінені на точність бінарної класифікації та час виконання – середній час у секундах для зчитування зображень з жорсткого диска та їх обрізання.

Точність бінарної класифікації була розрахована за наступною формулою

$$\text{Точність} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3.1)$$

де TP представляє справжні позитивні випадки в наборі даних тестування, TN означає істинно негативні випадки, FP позначає хибнопозитивні випадки, а FN представляє помилково негативні випадки.

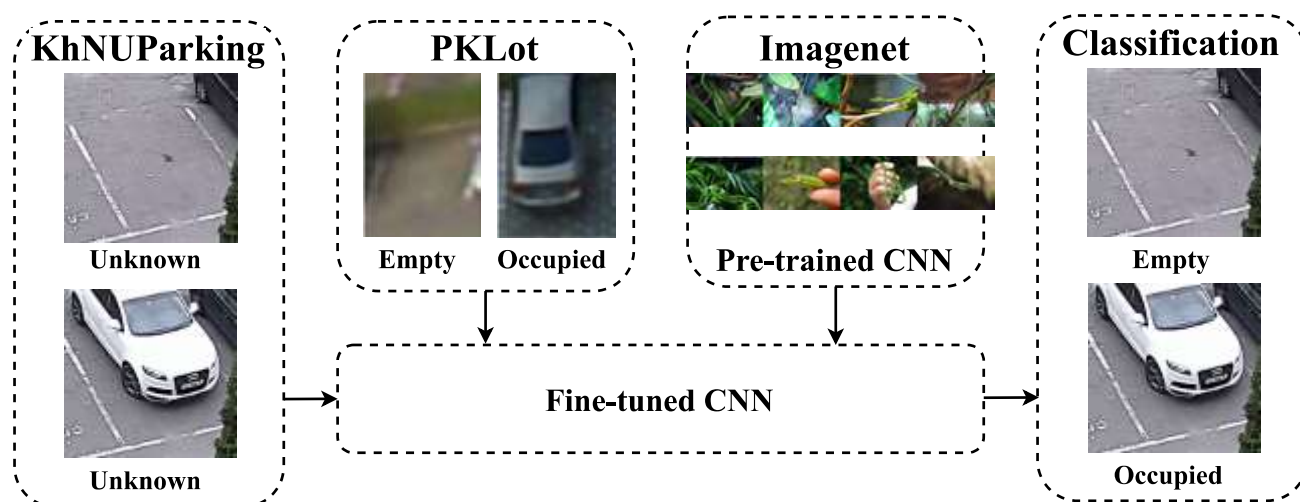


Рисунок 3.3 - Запропонований підхід до кібер-фізичної системи розумного паркування

Техніка збільшення даних також була виконана на наборі даних тонкого налаштування, щоб зменшити перепідгонку. Були застосовані два перетворення: 1) відбиття вздовж осей X і Y і 2) зміна масштабів X і Y зображень. Крім того,

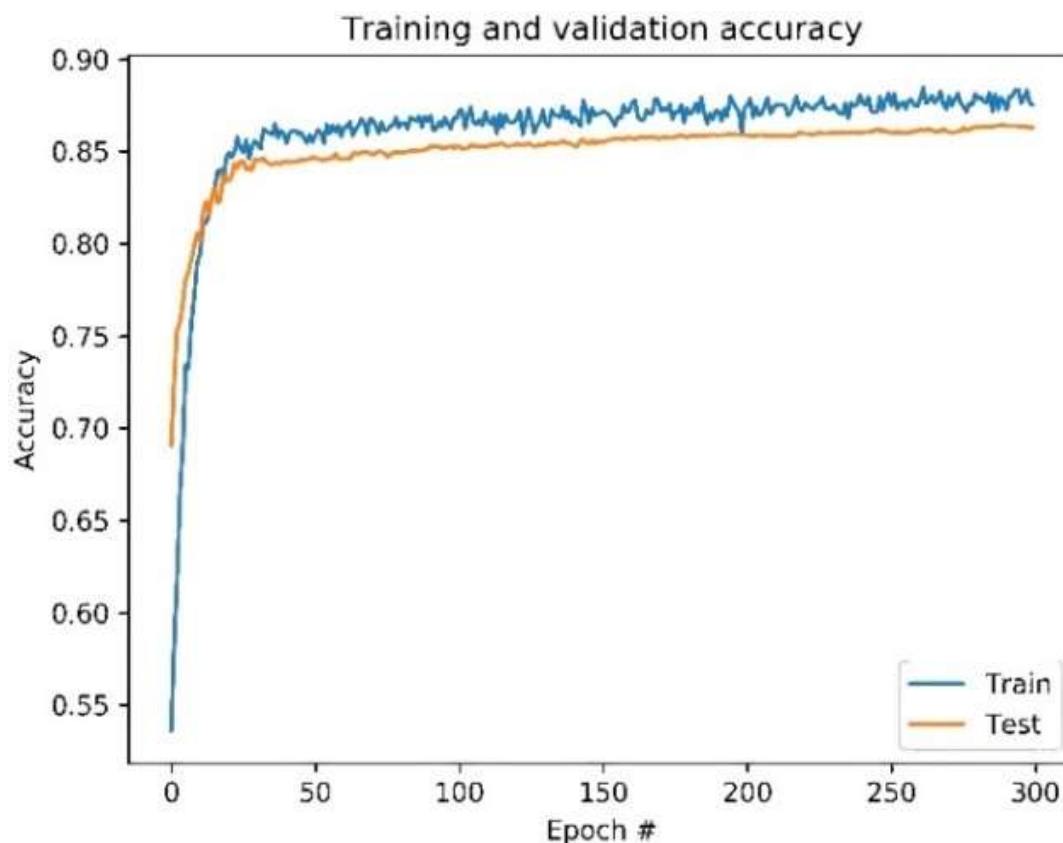
розмір вхідних зображень був змінений відповідно до розміру вхідного сигналу CNN, який становив 128×128 .

3.3 Аналіз результатів експериментів, верифікація, тестування та оцінка якості кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі

Для проведення експериментів розроблена у розділі 3 згортова нейронна мережа була попередньо навчена зі стохастичним градієнтним спуском з імпульсом 0,8, початковою швидкістю навчання 0,005 і розміром пакету 64. Кількість епох було встановлено на 20.

Крім того, навчальні дані перемішувалися в кожну епоху, щоб усунути будь-яке упередження набору даних через послідовності зображень.

Процес попереднього навчання зайняв приблизно 50 хвилин на одному GPU. Криві точності навчання та перевірки та втрат представлені на рисунку 3.4.



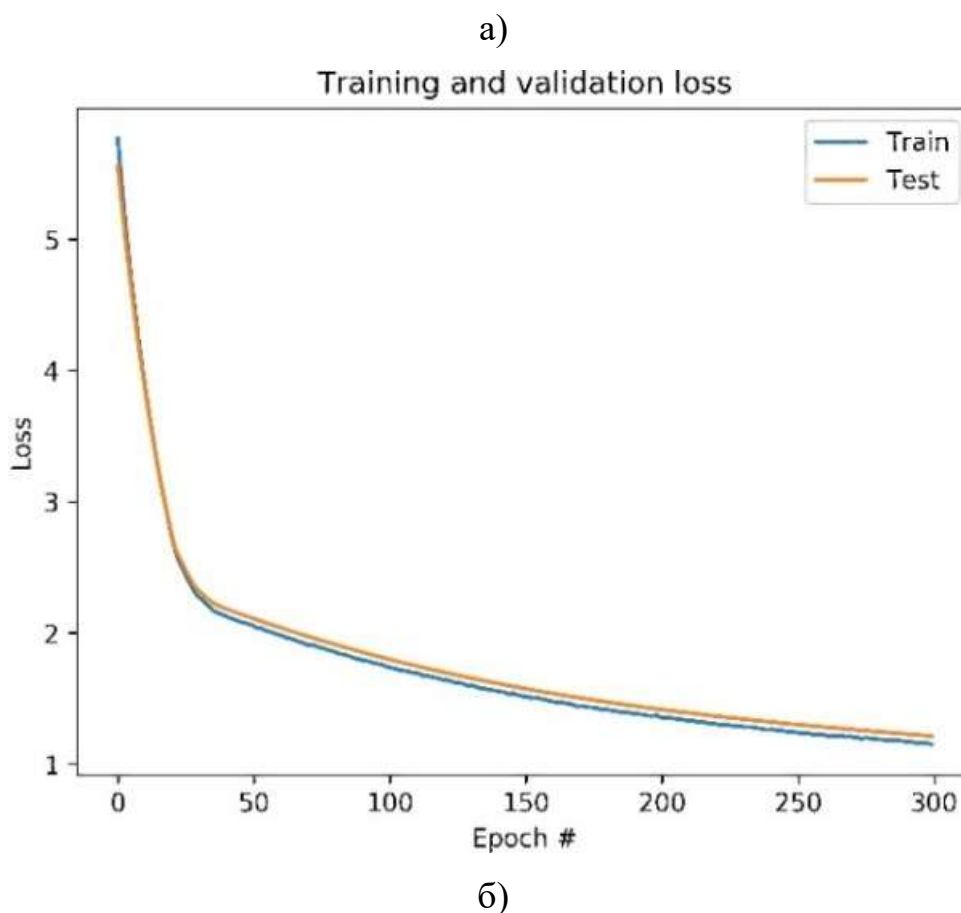


Рисунок 3.4 - Криві навчання та підтвердження процедури попереднього навчання: (а) – точність точного налаштування та перевірки, (б) – втрата точного налаштування та підтвердження

Підготовлена модель на основі попередньо підготовленої ЗНМ була протестована на 100 зображеннях з датасету ХНУПаркінг, який описаний у розділі 3. Це дозволить вирізнити окремі 33 місця для паркування кожного зображення. Після цього ці обрізані зображення були передані в налаштований CNN для класифікації. Основна істина набору даних KhNUParking містила статус заповнюваності (3300) та розмежування паркувальних місць (33). Тут ми представили окреслення паркувальних місць як обмежувальні рамки, які використовуються для обрізання окремих місць для паркування. Обмежувальна рамка визначається як $[x, y, w, h]$, де $[x, y]$ представляє середину прямокутника, а w, h означають ширину та висоту прямокутників відповідно. На рис. 3.5

представлені результати класифікації, отримані за набором даних тестування, а саме матриця невідповідності результатів тестування.

		Empty	Occupied
Actual cases	Empty	748	321
	Occupied	162	2069
		Predicted cases	

Рисунок 3.5 - Матриця невідповідності результатів класифікації

Як можна побачити з рисунку 3.5, правильно визначено 748 порожніх паркувальних місць та 2069 зайнятих паркувальних місць; при цьому 321 вільну ділянку було класифіковано неправильно, а 162 зайняті площі визнано відкритими. Отже, загальна точність класифікації склала 85,34%. З цих результатів ми можемо припустити, що запропонована попередньо налаштована ЗНМ показала трохи менш точний результат при ідентифікації порожніх місць для паркування.

Під час візуалізації кількох неправильно визначених місць для паркування на рисунку 4.10 було помічено, що ці паркомісця здебільшого містили частини транспортних засобів, людей або інші об'єкти всередині зображення.

Візуалізація класифікації вільних та зайнятих паркувальних місць на цільовій автопарковці, що розташована між навчальними корпусами 3 та 4 Хмельницького національного університету зображена на рисунку 4.11. Червним фільтром помічені зайняті паркомісця, зеленим фільтром помічені вільні паркомісця.

Декілька моделей, а саме AlexNet [18], VGG-16 [19] та MobileNetV2 [20], порівнювалися з налаштованою ЗНМ з точки зору їх ефективності та точності. Результати класифікації, отримані з усіх моделей, наведені в таблиці 3.6.



Рисунок 3.7 - Помилково класифіковані паркувальні місця з відповідними оцінками

У таблиці 4.3 представлено час виконання на ЦП (ефективність) і точність, досягнута шляхом порівняння моделей нейронної мережі.

З таблиці видно, що узагальнююча здатність всіх моделей досить висока для такої якості паркувальних місць, але MobileNetV2 досяг найвищої точності. Водночас запропонована у роботі ЗНМ отримала відносно хорошу продуктивність у 85,34%.

Що стосується часу виконання, то наша налаштована ЗНМ показав найкращу ефективність, набравши лише 0,15 секунди на зчитування зображень з жорсткого диска.

Загалом наша налаштована ЗНМ може обробити приблизно 66 паркувальних місць за одну секунду на ЦП з точністю 85,34%.



Рисунок 3.8 - Зразок візуалізації парковки: червоний колір позначає зайняті місця, зелений колір – порожні місця

Таблиця 3.2 Порівняння відомих архітектур нейронних мереж із запропонованою нами точно налаштованою ЗНМ на основі набору даних KhNUParking

Підхід	Час виконання ЦП, секунди	Точність, %
Google Cloud Vision API Ошибка! Источник ссылки не найден.	0.21	58.90
MXNet Ошибка! Источник ссылки не найден.	0.54	77.31
VGG-16 Ошибка! Источник ссылки не найден.	0.62	84.10

MobileNetV2 Ошибка! Источник ссылки не найден.	0.96	89.26
Пропонована у роботі ЗНМ	0.15	85.34

3.4 Висновки

У ході дослідження було проведено збір та підготовку тестових даних для інформаційної моделі. Було зібрано зображення з камер зовнішнього спостереження, які виходять на парковку між навчальними корпусами 3 та 4 Хмельницького національного університету. Зображення попередньо були підготовлені – було виконано обрізку меж, збільшення об’єктів та пропрацьовано чіткість та яскравість зображень.

Зібраний датасет було використано для тестування розробленої інформаційної моделі для розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі. Також було розроблено формулу для розрахунку точності бінарної класифікації зображень під час тестування. У цій роботі тестові моделі були оцінені на точність бінарної класифікації та час виконання – середній час у секундах для зчитування зображень з жорсткого диска та їх обрізання.

4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Вибір моделі життєвого циклу та аналіз вимог до кіберфізичної системи розумної парковки на основі штучної нейронної мережі

Проаналізувавши завдання даного проекту, врахувавши перелік вимог та проміжок часу, відведений для створення програмного забезпечення, було вирішено обрати водоспадну модель життєвого циклу для реалізації проекту.

Водоспадна модель життєвого циклу програмного забезпечення або Waterfall – це модель розробки програмного забезпечення, відома ще з 1970 року. Її описав Вінстон Ройс. Він розділив процес створення продукту на логічні етапи, які можуть нашаровуватись один на одного за часом, щоб надати технології трохи гнучкості. Але послідовність їх змінюється. Якщо візуалізувати все це, то отримаємо модель, схожу на водоспад – відповідно до назви методології. Структура проекту та ТЗ завжди виступають на чолі процесу розробки.

Waterfall - жорстка структура, яка фіксується на папері і в яку не можна втручатися. Наступний етап можна розпочати лише після завершення попереднього. Тому документи з вимогами та інструкції у цій методології практично священні. Клієнт не втручається у виробництво товару після затвердження ТЗ. Воно має бути продуманим, а документація якісно складеною. Чим докладніше документація – тим більша впевненість у результаті. У методології й досі залишаються шанувальники – це люди, які люблять стабільність та контроль. Їм приглянулось раз і назавжди визначати порядок речей у створенні. Завдяки цьому модель Waterfall забезпечила суворий контроль якості та прозорий процес. Команда з самого початку знатиме, що рано чи пізно процес роботи буде завершений і врешті-решт ми отримаємо повноцінний продукт, а не якусь його діючу частину. Замовник, у свою чергу, точно знатиме, коли проект завершиться і який бюджет потрібний. Через систему звітності можна буде проаналізувати витрачений час, бюджет та ресурси.

Але повернутись на ранні етапи проекту не вдасться. Система суворо забороняє такі відкати: потрібно дочекатися завершення розробки, ввести продукт в експлуатацію, перевірити його, а потім за необхідності модифікувати. Тож помилки тут мають особливу ціну в еквіваленті часу та грошей.

Стадії розробки у Waterfall:

- 1) аналіз вимог, складання ТЗ та планування процесів;
- 2) проектування. На цьому етапі розробляють прототип ПЗ;
- 3) підготовка до дизайну;
- 4) інтеграція. Об'єднання елементів в один товар;
- 5) тестування. Готовий продукт перевіряють на наявність програмних помилок, шукають недоліки функціоналу. Після цього важливо виправити виявлені недоліки;

- 6) випуск товару. Реліз готового проекту та закінчення розробки. Можлива також робота з адаптації проекту до інших систем;

- 7) технічна підтримка.

Популярні методика Waterfall:

1. Сашими – у ній етапи роботи йдуть по порядку та перекриваються одна одною за часом. Тобто, закінчуючи роботу на першому етапі, ви вже починаєте працювати над другим.

2. Waterfall із субпроектами – методика роботи з трьома великими стадіями: розробка концепції, проектування та структурування продукту. Кожен із цих блоків має свої етапи. Після закінчення робіт у кожній стадії їх інтегрують між собою.

3. Модель зниження ризику – проект поділяється на більш дрібні проекти, створені задля виявлення недоліків до релізу програмного продукту.

Концепція водоспадної моделі життєвого циклу програмного забезпечення зображена на рисунку 4.1.

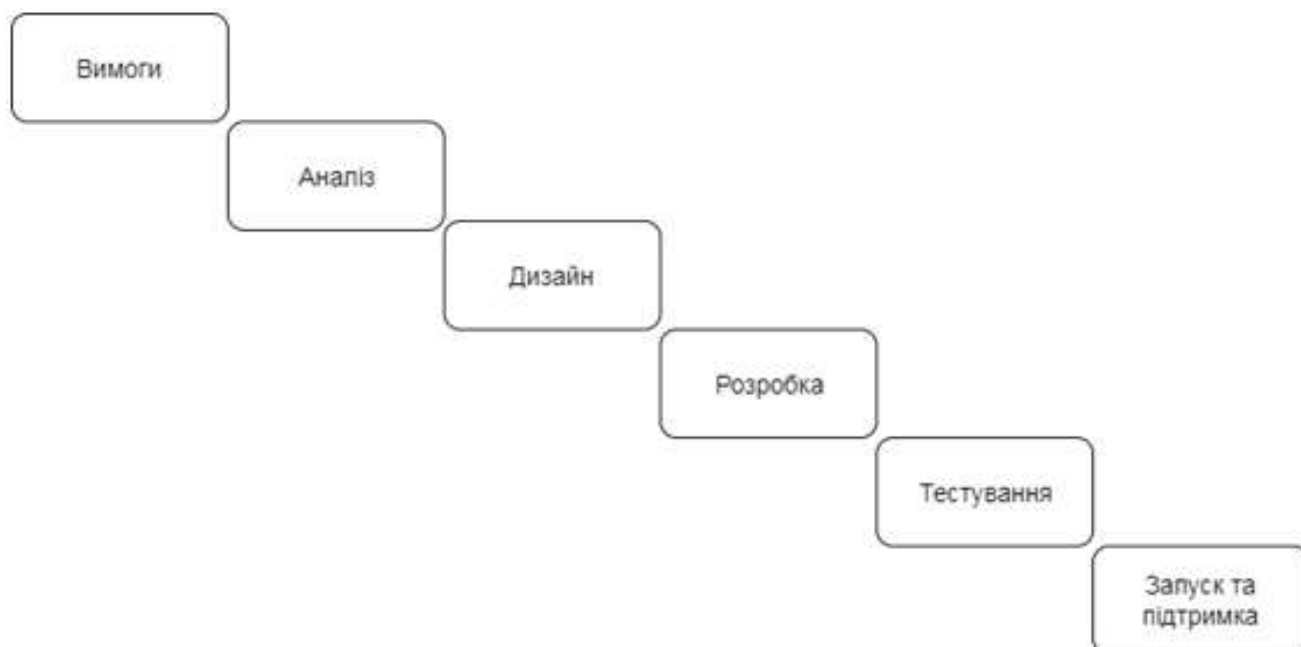


Рисунок 4.1 – Концепція водоспадної моделі життєвого циклу програмного забезпечення

Також у ході проектування кіберфізичної системи для було сформульовано основні нефункційні вимоги для проектованої системи розумної парковки на основі штучної нейронної мережі. Нефункційні вимоги наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Нефункційні вимоги до кіберфізичної системи для проектованої системи розумної парковки на основі штучної нейронної мережі

Вимога	Опис вимоги	Умови виконання
Зручність використання	Система повинна бути максимально зручною у використанні та бути під рукою у користувача під час водіння автомобіля	Розробити клієнтську частину роботи у вигляді мобільного додатку
Простота використання	Так як користувач повинен мати доступ до додатку, сидячи за кермом автомобіля, інтерфейс додатку повинен бути максимально простим у використанні та інтуїтивно зрозумілим.	Мінімалістичний дизайн, простота доступу до функціоналу

Кінець таблиці 4.1 – Нефункційні вимоги до кіберфізичної системи для проєктованої системи розумної парковки на основі штучної нейронної мережі

Кольори	Так як час для отримання інформації про вільні та зайняті паркомісця повинен бути коротким, кольори повинні давати користувачу вичерпну інформацію для мінімізації тексту	Використання контрастних кольорів, але не більше 3-х, згідно концепції мінімалістичного дизайну..
Текст	Через те, що користувач повинен мати доступ до додатку, сидячи за кермом автомобіля, ми повинні мінімізувати кількість тексту для заощадження часу користувача.	По максимуму використання іконок та інфографіки замість тексту.

Також у ході проєктування були сформульовані основні функційні вимоги для програмного забезпечення:

1. Наявність функціоналу огляду панорами парковки.
2. Наявність перегляду списку доступних парковог
3. Можливість спостереження за автомобілем в режимі реального часу.
4. Відображення вільних та зайнятих паркомісць у зручному для користувача вигляді.

4.2 Проєктування архітектури системи для прокладання та візуалізації маршрутів на основі технології доповненої реальності

Щоб розробити прототип кіберфізичної системи для розумного паркування, першим кроком є дослідження необхідних функцій і вимог, які є важливими для цього типу системи. Дослідження цих функцій і вимог дозволить зрозуміти процес розробки всієї системи.

Для встановлення камери в загальнодоступній зоні потрібен дозвіл на камеру відеоспостереження. Важливим фактором, який слід враховувати, є проблема конфіденційності, яка постачається з рішеннями на основі бачення.

Надсилання зображень на сервер або хмару через Інтернет також супроводжується проблемами безпеки. Щоб вирішити цю проблему безпеки, можна використовувати певний процес шифрування. Усі ці обмеження можуть негативно вплинути на зручність використання системи. Виконання завдань з обробки зображень у місці, де зображення фіксуються без збереження чи надсилання будь-яких даних зображення через Інтернет, може допомогти уникнути цих проблем, згаданих вище. Отже, аспект конфіденційності та безпеки слід розглядати як вимогу інтелектуального рішення для паркування.

У результаті аналізу вимог до кіберфізичної системи для розумного паркування на основі розпізнавання зображень, було розроблено діаграму вимог, яка представлена на рисунку 4.2.

Розумна система паркування на основі комп'ютерного бачення може включати різні підсистеми, наприклад, хмару, платформу візуалізації та базу даних. У центрі уваги цього дослідження є створення прототипу, який відповідає за захоплення зображень, вилучення інформації про зайнятість паркувальних місць із цих зображень і надсилання цієї інформації невеликого розміру на платформу. Вибір найкращої технології передачі даних, платформи візуалізації та зберігання даних виходить за рамки нашого дослідження. На основі діаграми вимог, представленої вище, було розроблено потік розбивки проблеми, щоб отримати загальне уявлення про різні підпроблеми системи. Кожна підзадача містить набір завдань, необхідних для вирішення підзадачі. Для вирішення основної проблеми були отримані чотири підзадачі: виявлення місця для паркування, передача даних, вибір і конфігурація обладнання та інтеграція. Основним напрямком цього дослідження є вирішення підпроблеми виявлення місця паркування. Дерево декомпозиції задачі побудови кіберфізичної системи для розумної парковки зображене на рисунку 4.3.

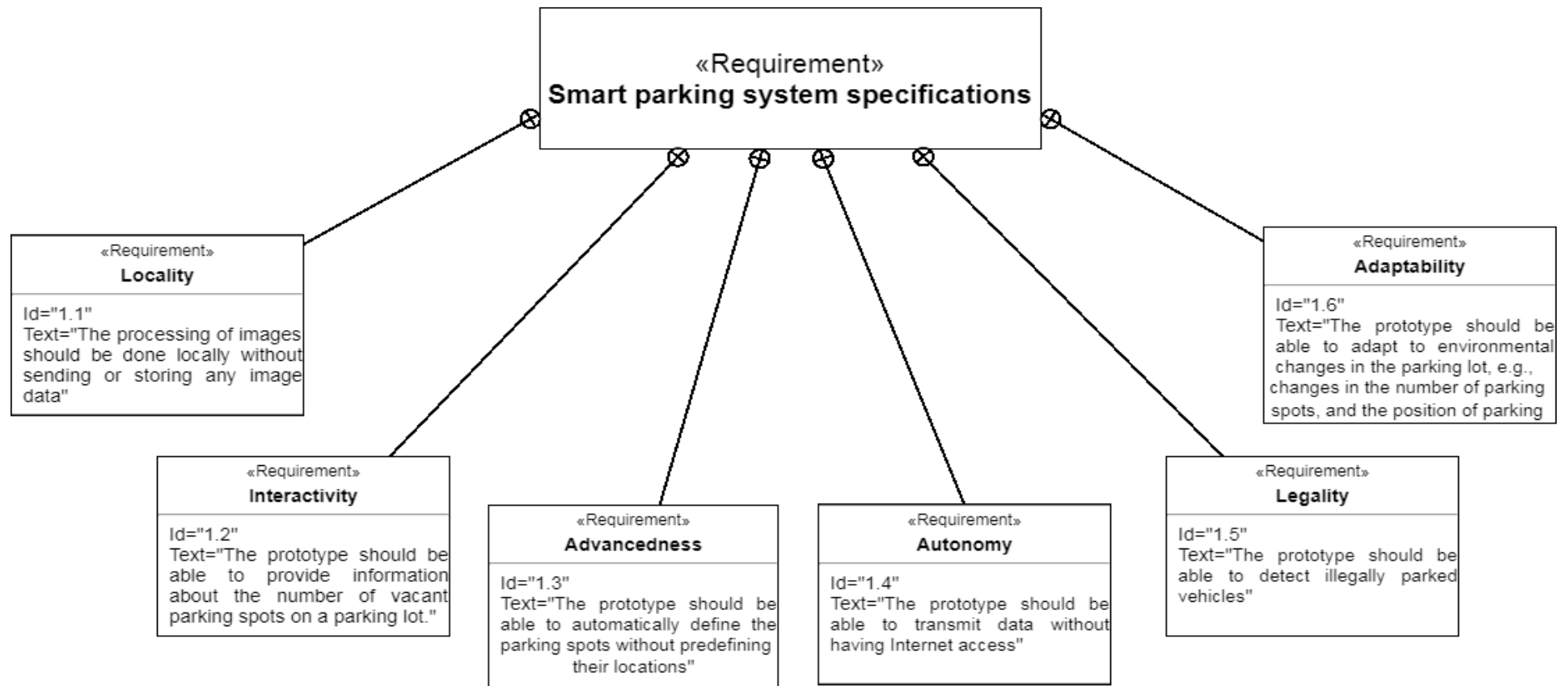


Рисунок 4.2 - Діаграма вимог до кіберфізичної системи розумної парковки

Згідно з рисунком 4.3, основними етапами дослідження є підзадачі, виділені червоними стрілками.

Виявлення місця для паркування Щоб побудувати динамічну розумну систему паркування, місця для паркування мають визначатися автоматично. Це завдання можна виконати за допомогою алгоритму виявлення об'єктів.

Вибраний підхід для виявлення паркувальних місць – виявлення транспортних засобів за допомогою технології глибокого навчання.

Вибраний підхід заснований на його простоті виявлення паркувальних місць на стоянці. Інший підхід, який можна використовувати для виявлення місць для паркування, - це визначення лінії.

Однак у цього підходу є деякі недоліки, тобто лінії можуть з часом стиратися або розмиватися або просто покриватися снігом.

Метою передачі даних в системі є передача даних на сервер, де можна зареєструвати інформацію про паркування. Передані дані мають на меті надати інформацію про стан паркінгу, тобто про те, скільки паркувальних місць доступно і скільки з цих місць для паркування не зайнято. Вибір обладнання та налаштування Апаратне забезпечення, яке можна використовувати в цій системі, складається з трьох різних частин: частини камери, частини комп'ютера та частини інтерфейсу користувача. Метою камери є зйомка зображень стоянки та відправка їх на бортовий комп'ютер. Призначення комп'ютера – виконувати обчислення та обробку зображень, отриманих від камери, для виявлення місць для паркування.

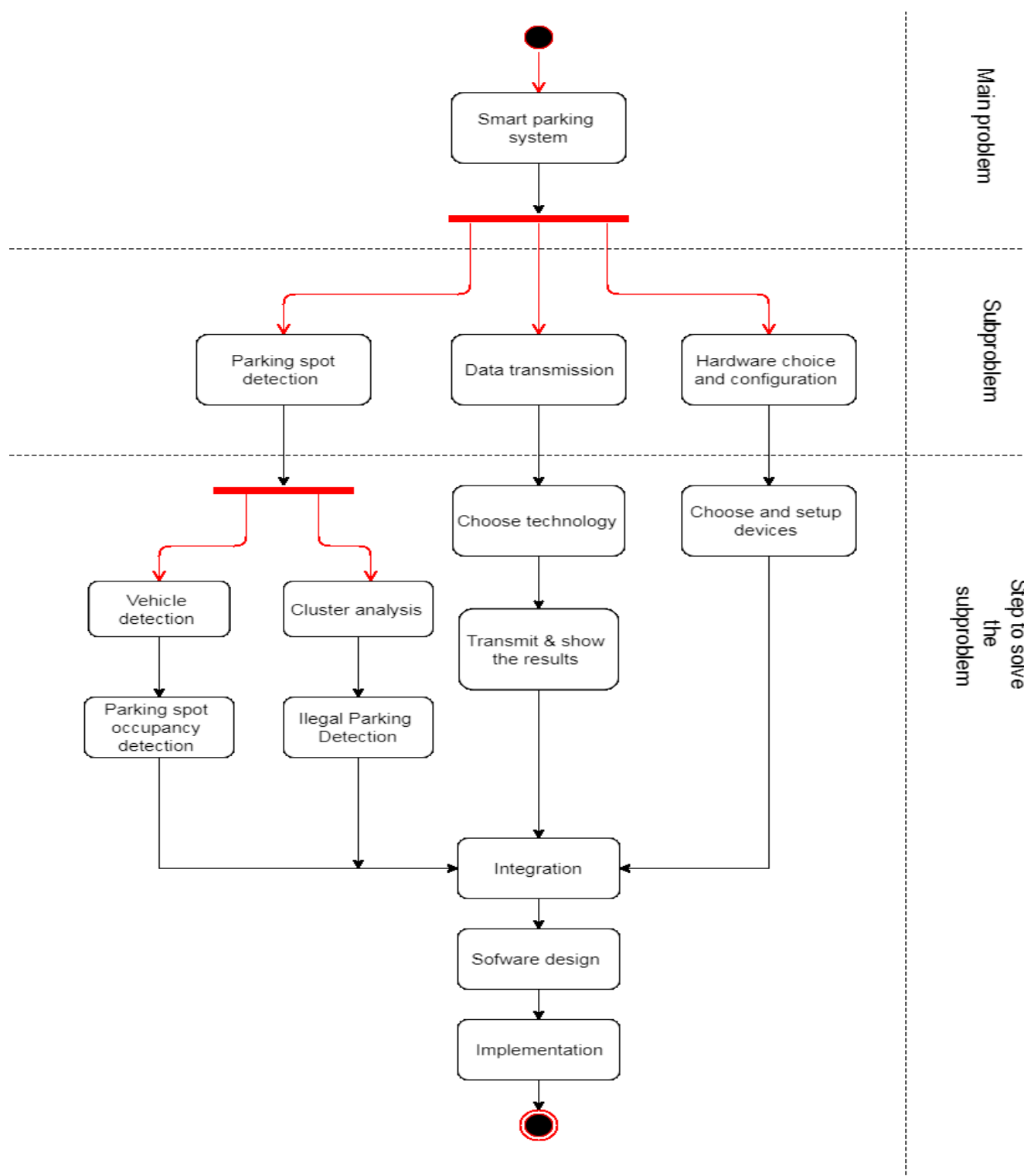


Рисунок 4.3 - Дерево декомпозиції задачі побудови кіберфізичної системи для розумної парковки

Пристрій передачі використовується для передачі інформації про автостоянку на сервер, наприклад, ідентифікатор парковки, кількість доступних місць і кількість незайнятих. Частина інтерфейсу користувача може бути

розроблена у вигляді мобільного додатка. Інтеграція Після виявлення місця для паркування, реалізації обраної техніки передачі даних і вибору апаратного забезпечення ці різні частини необхідно інтегрувати в одну систему.

Коли користувач відкриває мобільний додаток для розумної парковки, перед ним відкривається екран з картою міста з можливістю вибору парковки, яку він бажає перевірити на наявність вільних паркомісць. Коли користувач обирає парковку, він переходить на екран, де у вигляді схематичної розмітки показані вільні (зеленим кольором) та зайняті (показані у вигляді іконки автомобіля) місця для паркування. Після вибору потрібного місця, користувач направляється на парковку. Також, крім схематичного зображення вільних та зайнятих паркомісць, користувач може подивитись відео з камери спостереження у режимі реального часу з метою безпеки автомобіля.

Серверна частина кіберфізичної системи для розумної парковки складається з прийому зображення з камери зовнішнього спостереження, обробки зображення з метою ідентифікації автомобілів на місцях, позначених паркувальною розміткою. Коли зображення оброблено і автомобілі ідентифіковані, з серверної частини передається схематичне зображення з вільними та зайнятими паркомісцями на клієнтську частину, тобто у мобільний додаток, де воно буде доступне для користувача. Умовою роботи серверної частини є регулярне оновлення даних та передача їх у клієнтську частину.

Схема роботи кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі зображена на рисунку 4.4.

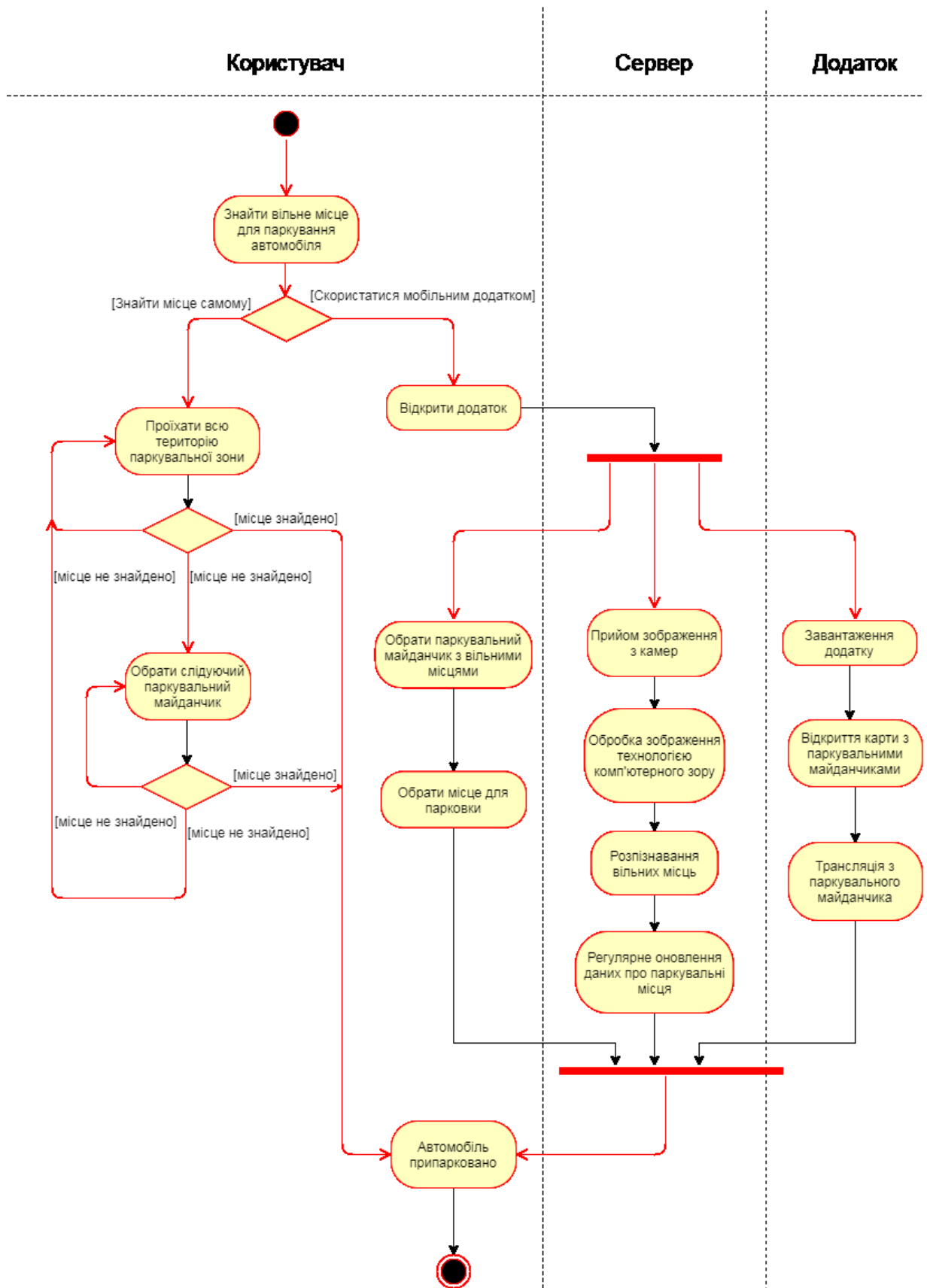


Рисунок 4.4 –Схема роботи кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі

На рисунку 4.5 зображено процес взаємодії серверної та клієнтської частин кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі. У лівому верхньому кутку діаграми зображений сервер обробки зображень Google Cloud Vision API, який був обраний в результаті експериментів у розділі 2. У лівому нижньому кутку зображений клієнтський пристрій. Це може бути будь-який смартфон з операційною системою не старішою, ніж Android 7. По центру зображений фізичний сервер на базі операційної системи Linux та веб-сервер Apache Tomcat Server. З правого боку зображений сервер бази даних з СУБД MySQL.

Схема взаємодії апаратного та програмного забезпечення кіберфізичної системи для розумної парковки з використанням штучної нейронної мережі на рисунку 4.5.

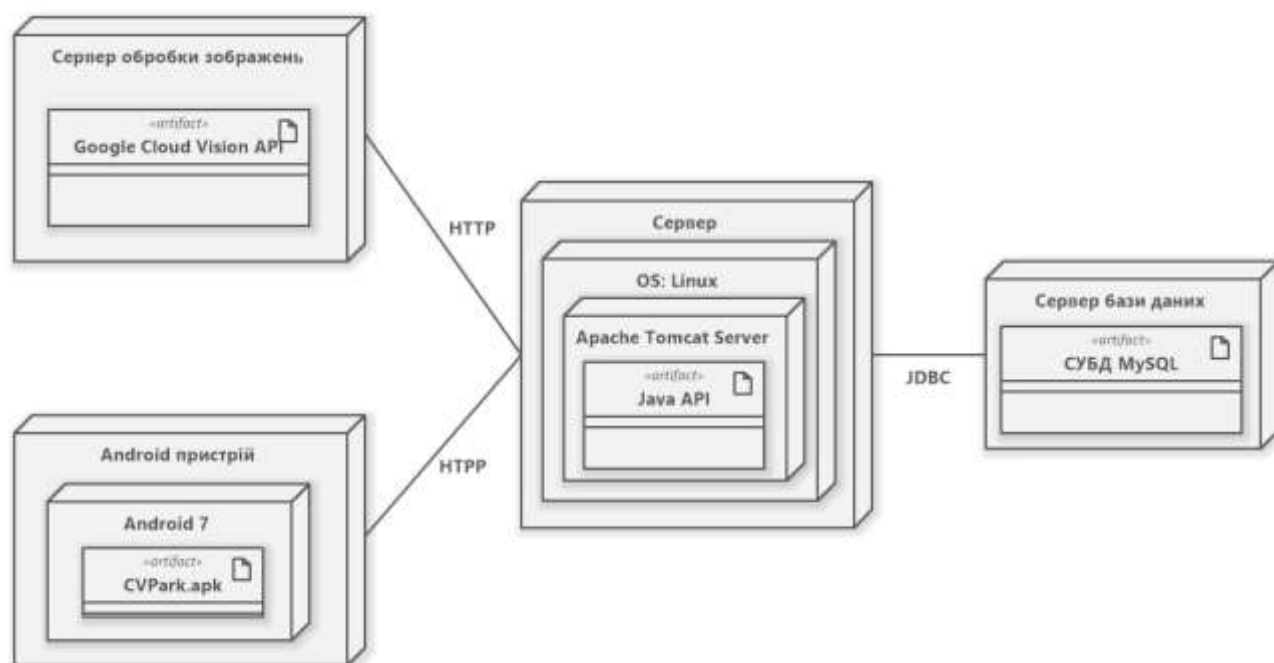


Рисунок 4.5 – Схема взаємодії апаратного та програмного забезпечення кіберфізичної системи для розумної парковки з використанням штучної нейронної мережі

4.3 Апаратно-програмна реалізація кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі

Для демонстрації роботи кіберфізичної системи для розумної парковки на основі розпізнавання зображень автомобілів з використанням штучної нейронної мережі, використаємо ширококутну камеру зовнішнього спостереження, кут огляду якої охоплюватиме весь парко майданчик. Смуга розмітки парко майданчика має бути чітко видимою та накресленою з дотриманням стандартів. Пропонована у роботі схема парко майданчика представлена на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Запропонована у роботі схема паркомайданчика

Для оснащення паркомайданчика потрібне наступне апаратне забезпечення:

- 1) PoE-коммутатор TP-LINK TL-SG1005LP.
- 2) IP відеокамера Dahua DH-IPC-HDW2431TP-AS-S2.
- 3) Витя пара зовнішньої прокладки UTP c.5E 4 x 2 x 0.51 мм² 25 м.
- 4) Кабель КППЕТ-ВП (100) 4*2*0,51 (FTP-cat.5E), ОК-net, CU, ізоляція ПЕ, екр., з трос. 7 * 0,5 для нар. роб.,305м.
- 5) 2x Спліттер PoE для CCTV камер Ethernet 5.5x2.1мм.
- 6) Конектор Cor-X RJ45 connector CAT5E 8P8C 10 шт.

7) Інжектор PoE-INJECTOR Lite.



Рисунок 4.7 – Камера зовнішнього спостереження для кіберфізичної системи розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору[64]

В таблиці 4.2 наведено перелік апаратного забезпечення, яке використовувалось для оснащення розумного паркомайdanчика та його функційного призначення.

Таблиця 4.3 Опис функціоналу апаратного забезпечення для оснащення розумного паркомайdanчика

Пристрій	Функція
коммутатор TP-LINK TL-SG1005LP	Підключення камер до мережі Інтернет
IP відеокамери	Функція приймача зображень автомобілів та камера, яка виконує функцію камери зовнішнього спостереження для забезпечення безпеки автомобілів на парковці.
Вита пара зовнішньої прокладки	Для підключення камер зовні до мережі Інтернет
Кабель КППЕТ-ВП (100) 4*2*0,51 (FTP-cat.5E)	Для підключення камер до мережі живлення зовні.

Продовження таблиці 4.3 Опис функціоналу апаратного забезпечення для оснащення розумного паркомайданчика

2x Спліттер PoE для CCTV камер Ethernet	Перехідник для підключення
Конектор Cor-X RJ45 connector CAT5E 8P8C	Для підключення виті пари до роз'ємів – приймачів Інтернет.

Для розробки серверної частини кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі було використано такі програмні засоби:

- 1) сервер обробки зображень Google Cloud Vision API;
- 2) клієнтський пристрій - будь-який смартфон з операційною системою не старішою, ніж Android 7;
- 3) фізичний сервер на базі операційної системи Linux;
- 4) веб-сервер Apache Tomcat Server;
- 5) сервер бази даних з СУБД MySQL.

Для розробки клієнтської частини кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі у вигляді мобільного додатку ParkItUp буде використано такі програмні засоби як операційну систему Android, мову програмування Java та середовище для програмування JavaBeans.

Опис основних функцій програмного забезпечення подано в зведеній таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Опис основних функцій ПЗ

№ п.п	Назва функції	Опис функції
1	DetectCars()	Клас, який відповідає за знаходження об'єктів на фото та порівняння їх з машинами, позначення їх та обчислення відсотку збігу

Також у ході виконання магістерської роботи було розроблено дизайн прототипу мобільного додатку для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень для операційної системи Android.

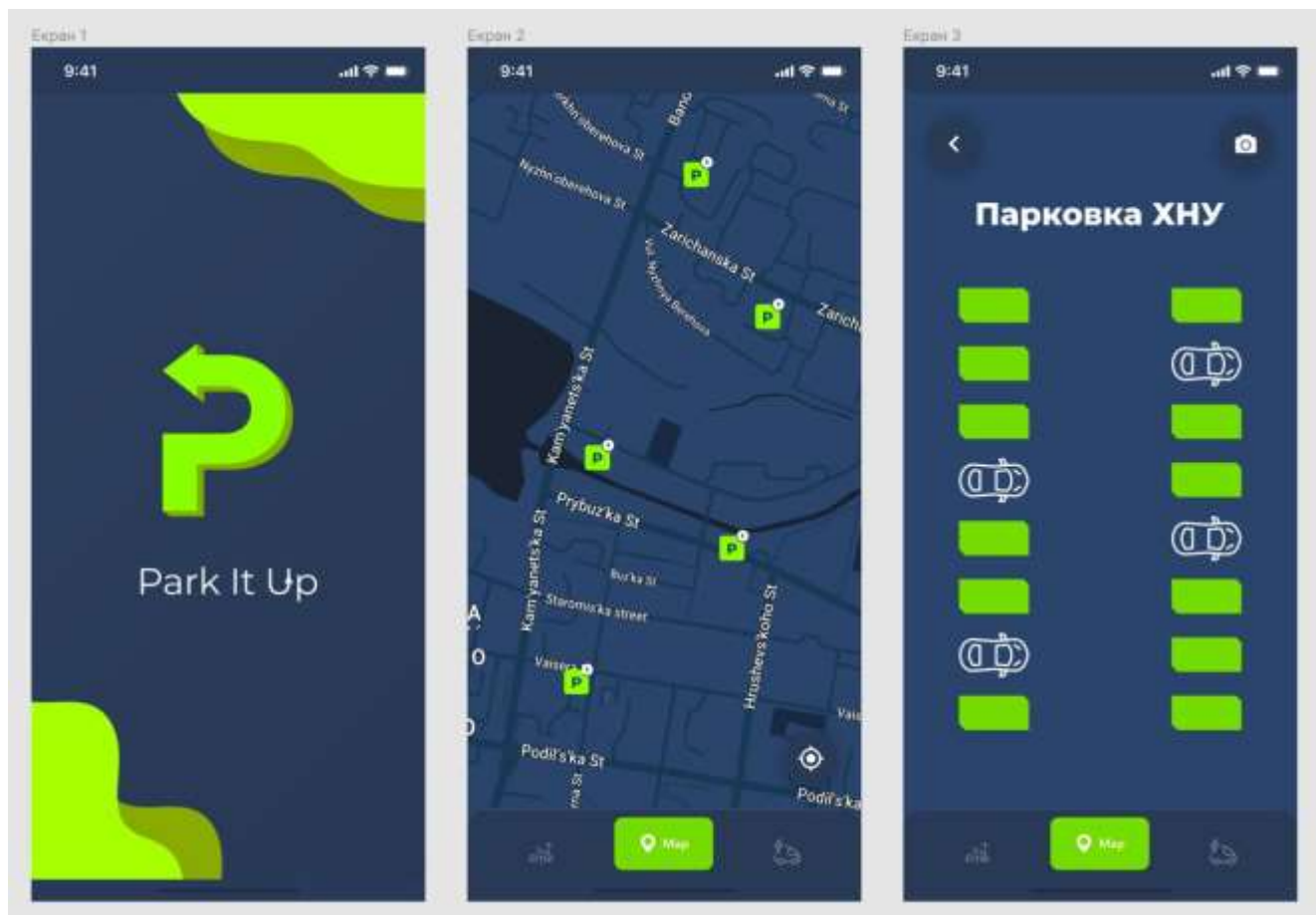


Рисунок 4.8 – Інтерфейсні вікна мобільного додатку для розумного паркування Park It Up для операційної системи Android

4.4 Висновки

У даному розділі було спроектовано структурну схему кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі. Для розробки даного програмного забезпечення було обрано водоспадну модель життєвого циклу через її простоту та ефективність в проектах такого типу.

Розроблена програмна система дозволяє користувачу побачити вільні та зайняті паркомісця на громадських парковках, оснащених камерами. Пропонована кіберфізична система складається з серверної та клієнтської частин. В основу серверної частини покладено Google Cloud Vision API та згорткову нейронну мережу, яку попередньо було підготовлено та навчено за допомогою алгоритмів машинного навчання. Тестові датасети було взято з камер зовнішнього спостереження між навчальними корпусами 3 та 4 Хмельницького національного університету. Розроблену інформаційну модель було протестовано та отримано доволі високі результати класифікації, а саме наша пропонована ЗНМ може обробити приблизно 66 паркувальних місць за одну секунду на ЦП з точністю 85,34%.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було вдосконалено метод розпізнавання автомобілів за допомогою штучної нейронної мережі, а також інформаційну модель для кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі.

У першому розділі проаналізовано галузь розумних міст та місце розумної парковки в них, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням методів розпізнавання зображень для розумних парковок. На основі порівняльного аналізу побудовано таблицю, у якій зазначено переваги та недоліки, що дає можливість зробити висновок про те, що задача розпізнавання зображень автомобілів, отриманих з камер зовнішнього спостереження, наразі є актуальною.

У другому розділі було проведено аналіз інформаційних технологій розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору. На основі аналізу була обрана технологія Google Cloud Vision для розробки кібер-фізичної системи для розумного паркування на основі технології комп'ютерного зору. Розроблено нову модель на основі тонко налаштованої згорткової нейронної мережі для виявлення порожніх і зайнятих слотів на зображеннях парковок, зібраних з набору даних KhNUParking. На основі досягнутих результатів можна спростити ефективність виявлення парковок, підвищити його точність. Також було зроблено висновок про те, що технологія Google Cloud Vision як детектор паркувальних місць і попередньо навчена згортка нейронна мережа як екстрактор і класифікація функцій були прийняті для розробки кібер-фізичної системи для розумного паркування.

У третьому розділі розроблено інформаційну модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень для кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі.

У четвертому розділі побудовано структурну схему кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень з використанням штучної нейронної мережі та розроблено діаграми для опису архітектури запропонованої кіберфізичної системи. Також було проведено експеримент із застосуванням запропонованої в роботі інформаційної технології на території студмістечка Хмельницького національного університету та наведено результати тестування продуктивності розробленої системи, а саме здатність обробити приблизно 66 паркувальних місць за одну секунду на ЦП з точністю 85,34%.

Подальше дослідження буде присвячено розробці серверної та клієнтської частин у вигляді мобільного додатка, який відстежує наявність вільних місць на парковці університету.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці апаратно-програмної інформаційної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж та її реалізації у вигляді серверної частини програмного забезпечення для мобільного додатку на базі ОС Android.

За темою дипломної роботи опубліковано англomовну статтю у фаховому науковому журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» CSIT, тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS-2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук. Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaScience 2022, де вона здобула третє місце.

На основі проведених досліджень розроблено архітектуру та компоненти апаратно-програмного забезпечення на основі штучної нейронної мережі для розпізнавання зображень з камери для системи розумної парковки.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці інформаційної моделі для розпізнавання зображень на основі згорткової нейронної мережі та інформаційної технології для застосування моделі для розпізнавання автомобілів у кіберфізичній системі розумної парковки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Automotive market research institute. Analytical study of the secondary car market of Ukraine. Eauto.org.ua. URL: <https://eauto.org.ua/news/13-analitichne-doslidzhennya-vmotorinnogo-avtorinku-ukrajini> (дата звернення: 30.12.2021).
2. Pavlova O., Kovalenko V., Novorushchenko T., Avsiyevych V. Neural network based image recognition method for smart parking. *Comput. Syst. Inf. Technol.* 3, 2021. pp. 49–55
3. Авсієвич В., Коваленко В. Аналіз інформаційних технологій для розумної парковки на основі штучних нейронних мереж. [Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук \(АПКН-2021\), Хмельницький, Україна, 15-16 жовтня 2021. Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 12-14.](#)
4. Barmak O., Radiuk P. Web-based information technology for classifying and interpreting early pneumonia based on fine-tuned convolutional neural network. *Comput. Syst. Inf. Technol.* 3, 2021. pp. 12–18 [DOI:10.31891/CSIT-2021-3-2](#)
5. Google Cloud Vision API. Майбутнє Computer Vision as a service настало? URL: <https://habr.com/post/312714/> (дата звернення: 13.03.2022).
6. Build your own Vehicle Detection Model using OpenCV and Python. URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/04/vehicle-detection-opencv-python/>(дата звернення: 13.03.2022).
7. Khan S.D., Ullah H. A survey of advances in vision-based vehicle re-identification. *Comput. Vis. Image Underst.* 182, 2019, pp. 50–63
8. Dixit M., Srimathi C., Doss R., Loke S., Saleemdurai M.A. Smart parking with computer vision and IoT technology. In: 2020. *43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP-2020)*. IEEE Inc., Milan, Italy, 7-9 July 2020. pp. 170–174.
9. Do H., Choi J.Y. Context-based parking slot detection with a realistic dataset. *IEEE Access.* 8, 171551–171559. 2020.
10. Li W., Cao H., Liao J., Xia J., Cao L., Knoll A. Parking slot detection on around-view images using DCNN. *Front. Neurorobot.* 14, 2020.
11. Trivedi J., Devi M.S., Dhara D. Canny edge detection based real-time intelligent parking management system. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Transp.* 106, 2020. pp. 197–208.
12. Noor M., Shrivastava A. Automatic parking slot occupancy detection using Laplacian

- operator and morphological kernel dilation. In: *2021 10th IEEE International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT-2021)*. pp. 825–831. IEEE Inc., Bhopal, India, 18-19 June 2021 [DOI](#): 10.1109/CSNT51715.2021.9509620
13. Hakim I.M., Christover D., Jaya Marindra A.M. Implementation of an image processing based smart parking system using Haar-Cascade method. In: *2019 IEEE 9th Symposium on Computer Applications Industrial Electronics (ISCAIE-2019)*. pp. 222–227. IEEE Inc., Penang, Malaysia, 27-28 April 2019. [DOI](#):10.1109/ISCAIE.2019.8743906
14. Tang J.S.L., Manickam S. Parking lot occupancy detection using image overlay and intersection technique with Harris corner detector. *J. Eng. Technol.* 11, 2020. pp.37–52
15. Sun R., Wang G., Zhang W., Hsu L.-T., Ochieng W.Y. A gradient boosting decision tree based GPS signal reception classification algorithm. *Appl. Soft Comput.* 86, 105942. 2020.
16. Zhang L., Huang J., Li X., Xiong L. Vision-based parking-slot detection: A DCNN-based approach and a large-scale benchmark dataset. *IEEE Trans. Image Process.* 27, 5350–5364. 2018.
17. Li W., Cao L., Yan L., Li C., Feng X., Zhao P. Vacant parking slot detection in the around view image based on deep learning. *Sensors.* 20, 2138. 2020.
18. Trivedi J.D., Sarada Devi M., Dave D.H. Different modules for car parking system demonstrated using Hough transform for smart city development. *Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability*. Springer Singapore, Singapore, 2020. pp. 109–121.
19. Manjula G., Govinda Rajulu G., Anand R., Thirukrishna J.T. Implementation of smart parking application using IoT and machine learning algorithms. In: Smys, S., Bestak, R., Palanisamy, R., and Kotuliak, I. (eds.) *Computer Networks and Inventive Communication Technologies*. Springer Singapore, Singapore, 2022. pp. 247–257.
20. Min C., Xu J., Xiao L., Zhao D., Nie Y., Dai, B. Attentional graph neural network for parking-slot detection. *IEEE Robot. Autom. Lett.* 6, 3445–3450, 2021.
21. Gollapudi S. *OpenCV with Python*. In: *Learn Computer Vision Using OpenCV*. Apress, Berkeley, CA, 2019. pp. 31–50.
22. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton E.G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Commun. ACM.* 60, 2017. pp. 84–90.
23. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image

- recognition. In: *3rd International Conference on Learning Representations (ICLR-2015)*. pp. 1–14. International Conference on Learning Representations, ICLR, San Diego, CA, USA, 7-9 May 2015.
- 24.Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L. MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In: *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR-2018)*. pp. 4510–4520. IEEE Inc., Salt Lake City, UT, USA, 18–23 June 2018.
- 25.Google, Inc. Vision AI Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com/vision> (дата звернення: 11.12.2021).
- 26.De Almeida, P.R.L., Oliveira, L.S., Britto A.S., Silva E.J., Koerich A.L.: PKLot - A robust dataset for parking lot classification. *Expert Syst. Appl.* 42, 4937–4949, 2015.
- 27.SmartParking Technologies Overview URL: <https://www.smartparking.com> (дата звернення: 16.06.2021)
- 28.Cesana A.E. Redondi M. Tagliasacchi L. Baroffio, L. Bondi. A visual sensor network for parking lot occupancy detection in smart cities. *IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2015.
- 29.Vandelinde H., Milligan S., Cavanagh M., Understanding Ultrasonic Level Measurement. SIEMENS, 2013.
- 30.Zhi-yuan Z., He R., Jie T. A method for optimizing the position of passive UHF RFID tags. *2018 IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications*, 2018.
- 31.Amato G., Carrara F., Falchi F., Gennaro C., Meghini C., and Vairo C. Deep learning for decentralized parking lot occupancy detection. *Expert Systems with Applications*, 72:327 – 334, 2017.
- 32.Hurwitz J. and Kirsch D. *Machine Learning For Dummies - IBM Limited Edition*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, NJ, USA, 2018. ISBN 9781119454946.
- 33.Shanmugamani R. *Deep Learning for Computer Vision*. Packt Publishing Limited, Birmingham, UK, 2017. ISBN 9781788295628.
- 34.Shunmuga Sundaram K., Siva Sornaram R., A.G.Naveen Kumar, M.Ranjith King Jimson, B. Venkatasamy. Smart Vehicle Monitoring System Using OpenCV. *IJSTR VOLUME 9, ISSUE 03, MARCH 2020 ISSN 2277-8616*

35. Dalkic Y., Deknache H. A Self-policing Smart Parking Solution. Computer Science: Master Thesis, DA613A, Malmö University, Sweden, 2019
36. Lookmuang R., Nambut K., and Usanavasin S. Smart parking using IoT technology. 2018 *5th International Conference on Business and Industrial Research*, 2018.
37. Vakula D. and Kolli Y. K. Low cost smart parking system for smart cities. 2017 *International Conference on Intelligent Sustainable Systems*, 2017.
38. Grodi R., Rawat D. B., and Rios-Huitierrez F. Smart parking: Parking occupancy monitoring and visualization system for smart cities. SoutheastCon, 2016.
39. Maine L., Palano L., Patrono L., Stefanizzi M. L., and Vergallo R. Integration of rfid and wsn technologies in a smart parking system. *22nd International Conference on Software*, 2014.
40. Mauro D. Di, Moltisanti M., Patane G., Baiato S., and Farinella G. M., Park smart. 2017 *14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2017.
41. Gollapudi S. Learn computer vision using opencv: with deep learning cnns and rnns : eBook. Berkeley, CA: Apress, 2019. 171 p.
42. Balaji G.V., Bharath K., Nithin S., Pranesh D.M. Shilpa S.B. Object detection using OpenCV and deep learning. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2021. Vol.9, No.1. pp.3920-3923.
43. Vision AI. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com/vision> (дата звернення: 21.10.2021).
44. Теорія рішень «розумного» міста та можливості її реалізації на базі єдиної муніципальної платформи. Kyivstar business hub. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/teoriya-reshenij-umnogo-goroda-i-vozmozhnosti-ee-realizaczii-na-baze-edinoj-municzipalnoj-platformy/> (дата звернення: 05.05.2022).
45. Agile vs. Waterfall: суть та відмінності методів розробки. Web Academy. URL: https://web-academy.ua/blog/upravlenie/agile-vs-waterfall?utm_source=smartsender&utm_medium=post&utm_campaign=agile-vs-waterfall&utm_content=special-content&utm_term=11-02-22 (дата звернення: 05.05.2022).

46. Львівська компанія SoftServe почала тестування паркінг-системи на базі машинного навчання. zaxid.net. URL: https://zaxid.net/lvivska_kompaniya_softserve_pochala_testuvannya_parking_sistemi_na_bazi_mashinnogo_navchannya_n1471000 (дата звернення: 05.05.2022).
47. Паркінг в Буковелі. Трансфер до Карпат. URL: <https://transferdokarpat.com.ua/articles/bukovel-vartist-poslugi-parkingiv> (дата звернення: 05.05.2022).
48. У Києві стартував пілот із впровадження «розумної» системи паркування. Офіційний портал Києва. URL: https://kyivcity.gov.ua/news/u_kiyevi_startuvav_pilot_iz_vprovadzhennya_rozumno_sistemi_parkuvannya/ (дата звернення: 05.05.2022).
49. Інтелектуальна система парковки Асер. URL: <https://www.acer.com/ac/ru/RU/content/acerdesign-smart-parking> (дата звернення: 05.05.2022).
50. Parklio™ - New smart parking future. URL: <https://parklio.com> (дата звернення: 05.05.2022).
51. Скільки коштує парковка в різних містах України: інфографіка. 24 канал. URL: https://24tv.ua/ru/skolko_stoit_parkovka_v_raznyh_gorodah_ukrainy_infografika_n1228125 (дата звернення: 05.05.2022).
52. Vodafone створює у Харкові систему "розумних" парковок Vodafone створює у Харкові систему «розумних» парковок. Vodafone. URL: <https://www.vodafone.ua/news/vodafone-smart-parking> (дата звернення: 05.05.2022).
53. Іноземні інвестори допомагають впровадити "розумну" систему паркування в Україні. Automoto. URL: <https://automoto.ua/uk/auto-news/inostrannye-investory-pomogayut-vnedrit-umnuyu-sistemu-parkovki-v-ukraine-2402.html> (дата звернення: 05.05.2022).
54. SmartParking. Ipcom. URL: <https://ipcom.ua/smart-parking> (дата звернення: 05.05.2022).
55. Розумна парковка. Допомога в режимі реального часу. URL: <http://ru.parking-equipment.com/news/smart-parking-aided-by-real-time-parking-info-18814575.html> (дата звернення: 05.05.2022).
56. Yurdaer D., Hadi D., A Self-policing Smart Parking Solution, 2019.

57. Training a Convolutional Neural Network from scratch
URL: <https://towardsdatascience.com/training-a-convolutional-neural-network-from-scratch-2235c2a25754> (дата звернення: 10.05.2022)
58. What are the pros and cons of convolutional neural networks? URL: <https://www.quora.com/What-are-the-pros-and-cons-of-convolutional-neural-networks> (дата звернення: 10.05.2022)
59. Advantages and Disadvantages of Neural Networks. URL: <https://www.baeldung.com/cs/neural-net-advantages-disadvantages> (дата звернення: 10.05.2022)
60. Capsule Networks – A survey. URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1319157819309322?token=8C2E736961C5E57FE80A19DFC0B3CB0673CDD9027032CA9CEBE0F23B439F39E4B537273B4892009E9C74B4BEE0BAC67F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220507082733> (дата звернення: 10.05.2022)
61. A Survey on Vision Transformer. URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.12556.pdf> (дата звернення: 10.05.2022).
62. Обчислювальна складність. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C (дата звернення: 10.05.2022).
63. What is the computational complexity of the forward pass of a convolutional neural network? URL: <https://ai.stackexchange.com/questions/22913/what-is-the-computational-complexity-of-the-forward-pass-of-a-convolutional-neur>(дата звернення: 10.05.2022).
64. IP відеокамера Dahua DH-IPC-HDW2431TP-AS-S2. RozetkaLTD. URL: https://rozetka.com.ua/dahua_dh_ipc_hdw2431tp_as_s2_3_6_mm/p175174490/characteristics. (дата звернення: 12.05.2022)
65. Deep Learning's mathematics. URL: <https://towardsdatascience.com/deep-learning-mathematics-f52b3c4d2576> (дата звернення: 01.05.2022)
66. Convolutional Neural Networks' mathematics. URL: <https://towardsdatascience.com/convolutional-neural-networks-mathematics-1beb3e6447>

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

main.java

```
class DetectObjects {
    public static void detectLocalizedObjects(String filePath) throws IOException {
        List<AnnotateImageRequest> requests = new ArrayList<>();

        ByteString imgBytes = ByteString.readFrom(new FileInputStream(filePath));

        Image img = Image.newBuilder().setContent(imgBytes).build();
        BufferedImage image = ImageIO.read(new File(filePath));
        Graphics2D g = (Graphics2D) image.getGraphics();
        g.setColor(Color.GREEN);
        g.setStroke(new BasicStroke(3.0f, BasicStroke.CAP_BUTT,
        BasicStroke.JOIN_MITER));

        AnnotateImageRequest request =
            AnnotateImageRequest.newBuilder()

        .addFeatures(Feature.newBuilder().setType(Type.OBJECT_LOCALIZATION)
            .setImage(img)
            .build());
        requests.add(request);

        // Initialize client that will be used to send requests. This client only needs
        to be created
        // once, and can be reused for multiple requests. After completing all of your
        requests, call
        // the "close" method on the client to safely clean up any remaining background
        resources.
        try (ImageAnnotatorClient client = ImageAnnotatorClient.create()) {
            // Perform the request
            BatchAnnotateImagesResponse response =
client.batchAnnotateImages(requests);
            List<AnnotateImageResponse> responses = response.getResponsesList();
```

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

ТЕЗИ ДОПОВІДІ НА ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК АПКН-2021»

Актуальні проблеми комп'ютерних наук

УДК 004.4

Авсієвич В. Р., Коваленко В. В.

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗУМНОЇ ПАРКОВКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Розглянуто сучасні технології розпізнавання зображень автомобілів для розумного паркування. На основі проведеного аналізу обрано технологію Google Cloud Vision для подальшої роботи та використання при розробці кіберфізичної системи для розумної парковки на основі технологій комп'ютерного зору.

Modern technologies of car image recognition for smart parking were considered. Based on the conducted analysis, Google Cloud Vision technology was selected for further work and use in the development of a cyberphysical system for intelligent parking based on computer vision technology.

З розвитком урбанізації та збільшенням кількості автомобілів на дорогах великих міст зростає потреба у діджиталізації способів паркування. Наразі вже існують методи для забезпечення «смарт паркінгу», проте більшість з них потребують дороговартісного обладнання та витрат на обслуговування і супровід.

Тому метою роботи є проведення аналізу сучасних технологій для розпізнавання зображень та рухомих об'єктів на основі штучних нейронних мереж для подальшого її використання для розробки кіберфізичної системи для розумної автомобільної парковки.

Однією з популярних технологій для розпізнавання зображень є бібліотека комп'ютерного зору OpenCV [1]. Цей набір інструментів виконує роль так званої інфраструктури для застосування методів комп'ютерного зору в інформаційних системах. OpenCV використовується в тому числі для зміни розмірів вхідних зображень, переведення їх у векторну форму та виявлення ознак цільових об'єктів на зображенні. Водночас одним з найпопулярніших підходів до виявлення ознак на зображенні на сьогодні є глибоке навчання, зокрема згортова нейронна мережа (ЗНМ) [2]. Модель ЗНМ подається, як послідовність багатьох функціональних операцій, що переводить вхідне зображення у вигляді векторів ознак у результуючі дані як ознаки приналежності ідентифікованих об'єктів до наперед визначених класів.

Іншою не менш відомою технологією розпізнавання об'єктів на зображеннях є Google Cloud Vision API (GCV API) [3]. Сервіс GCV API є де факто набором підготовлених моделей та алгоритмів машинного навчання, що можуть бути легко впроваджені користувачами сервісу для реалізації їхніх бізнес-потреб.

Приходь роботи GCV API полягає у виконанні двох етапів: 1) присвоєння користувачам міток початковим зображенням; 2) автоматичне розпізнавання об'єктів на зображенні за наперед визначеними класами. Сервіс GCV API є універсальним класифікатором і ідентифікує різноманітні рухоми та нерухоми об'єкти на зображенні.

Для проведення експерименту було використано фото з відеореєстратора зовнішнього спостереження однієї з парковок Хмельницького національного університету. Фото парковки подано на рисунку 1.



Рисунок 1 – Зображення парковки з камери зовнішнього спостереження

Перед перевіркою зображення попередньо підготовлено, а саме виконано обрізання контурів зображення, щоб максимально наблизити фокус до розташування автомобілів. Крім того, об'єкти на зображенні збільшено для підвищення ймовірності знаходження там шуканого об'єкта.

Експеримент полягає у тому, щоб одне і те ж зображення протестувати за допомогою двох найпопулярніших технологій розпізнавання зображень. Результати ідентифікації об'єктів за зльовим зображенням, що виконана з допомогою технологій OpenCV+3DM та GCV API, подано на рисунку 2.

З рисунку 2 бачимо, що технологія GCV API значно краще впоралася із завданням ідентифікації автомобілів на зображенні (рисунку 1a), ніж технологія OpenCV+3DM (рисунку 2б).

Числові оцінки обчислювальних експериментів, що отримані за допомогою OpenCV+3DM та GCV API, наведено у таблиці 1.



Рисунок 2 – Ідентифіковані об'єкти на зображенні, що відповідають шуканим автомобілям, знайдені за допомогою: а) OpenCV+3DM; б) GCV API

Таблиця 1 – Остаточна точність класифікації для кожної категорії

Технологія	Точність класифікації, %
OpenCV+3DM	77,08
GCV API	58,9

Відповідно до результатів обчислювальних експериментів, що подано у таблиці 1, робимо висновок, що система GCV API досягла вищого значення точності класифікації, ніж подання інструментів OpenCV+API.

Отже, у ході виконання дослідження був проведений аналіз інформаційних технологій для розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору. Під час експерименту було отримано числові оцінки точності класифікації автомобілів за допомогою кожної з технологій. Подальші дослідження спрямовані на автоматизацію процесу визначення вільного місця для парковки на основі технологій GCV API та розробки програмного забезпечення для прикладного застосування.

Перелік посилань

- Gollapudi S. Learn computer vision using opencv with deep learning c++ and rms : eBook. Berkeley, CA : Apress, 2019. 171 p.
- Balaji G.V., Bharath K., Nithin S., Pranesh D.M. Shilpa S.B. Object detection using OpenCV and deep learning International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology 2021. Vol. 9, No. 1. P. 3920-3923.
- Vision AI. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com/vision> (date of access: 02.10.2021).

UDC 004.89: 004.3
DOI: 10.31801/CSIT-2021-13-7

OLGA PAVLOVA, VOLODYMYR KOVALENKO,
TETIANA HOVORUSHCHENKO, VOLODYMYR AVSIYEVYCH
Chmelnytskyi National University

NEURAL NETWORK BASED IMAGE RECOGNITION METHOD FOR SMART PARKING

Currently, the issue of creating smart parking lots is extremely important due to the rapid growth of number of cars, especially in big cities. This leads to the need for parking spaces and search facilities still remains an urgent problem. Assuming that every day the average motorist spends 20 minutes searching for such a place, this is about 120 hours a year, which could be spent on something more useful. Today, there are many projects of "smart" parking, but practical examples can be counted on the fingers, and information about the cost-effective aspect of their implementation is generally very limited. The paper provides analysis of the most common methods and tools for smart parking and shows the advantages of camera-based methods. The research is carried out at image recognition for camera-based smart parking using convolutional neural network.

Keywords: Video image processing, Smart Parking, Smart City, Deep Learning, Convolutional Neural Network, Machine Learning

ОЛЬГА ПАВЛОВА, ВОЛОДИМИР КОВАЛЕНКО,
ТЕТЯНА ГОВОРУШЧЕНКО, ВОЛОДИМИР АВСІЄВИЧ
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

МЕТОД РОЗПИЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗУМНОГО ПАРКИНГУ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Наразі питання створення розумних парковок є надзвичайно актуальним, особливо у великих містах. З ростом кількості автомобілів збільшується потреба у кількості паркувальних місць та засобах їх пошуку. Якщо припустити, що кожен день середньостатистичний автомобіліст витрачає 20 хвилин на пошук вільного місця, це приблизно 120 годин на рік, які можна було б використати на щось більш корисне. А щодо проектів «розумного паркування», то практичних прикладів можна перерахувати на пальцях, а інформація про економічно вигідний аспект їх реалізації, зокрема, дуже обмежена. Ця стаття надає аналіз найбільш поширених методів та інструментів розумного паркування та показує переваги камерних методів розпізнавання зображень.

Сьогодні дуже багато проектів розумного паркування, але практично готових до використання можна перерахувати на пальцях, а інформація про економічно вигідний аспект їх реалізації, зокрема, дуже обмежена. Ця стаття надає аналіз найбільш поширених методів та інструментів розумного паркування та показує переваги камерних методів розпізнавання зображень.

Ключові слова: обробка відео, розумне паркування, розумне місто, глибоке навчання, алгоритми розпізнавання зображень, машинне навчання.

Introduction

Currently, the issue of creating smart parking is extremely important, especially in large cities. As the number of cars increases, so does the need for parking spaces and search facilities. Assuming that every day the average driver spends 20 minutes searching for such a place, this is about 120 hours a year, which could be spent on something more useful. And if take into account the fact that driving circle after circle in search of a free place increases the probability of getting into an accident - the information about a free place can be invaluable.

Today there are many smart parking projects, but ready for use examples can be counted on the fingers, and information about the cost-effective aspect of their implementation is generally very limited. It should be born in mind that when designing such tools, the largest financial part of the development is born by the software, not hardware. Even in relatively expensive sensor systems based on magnetic, radio and infrared sensors, the main thing is the use of information about the free parking spaces described above. The software should ideally be in the form of a grid of parking spaces, which should clearly and without unnecessary movements show the user whether they are vacant or not.

Therefore, the problem of finding a vacant parking spot on public parking is relevant nowadays. Since the government is actively developing a smart city system, smart public parking with the low cost and high accessibility for all the city dwellers should be an integral part of this system.

State-of-the-art

With the growing level of information and the increasing number of cars in large cities, the problem of parking has become interesting not only from an applied point of view, but also from a scientific point of view, since it was necessary to find new rational ways to park cars, such as the concept of a smart city.

This problem has been considered in the works of many scientists around the world. Lookmanq et al. [10] propose and develop a prototype using an embedded controller, Raspberry Pi 3, ultrasonic sensor, and a camera, with the aim of localizing vacant parking spots. Similar approaches are considered by Vakula et al. [11] and Grodi et al. [12]. In particular, Grodi et al. discuss the advantages and disadvantages of multiple sensor types, such as induction proximity, RFID, light/ranging detection, and camera. In both cases, the authors chose to use an ultrasonic sensor for detecting when a vehicle was parked on a parking spot. Minus et al. [13] present another smart parking system, which combines different IoT technologies, such as ultra-high frequency RFID (UHF RFID), Wireless Sensor Network (WSN) and Near Field Communication (NFC). The work done by Petrus et al. [14] is an example of a vacant parking spot detection system that makes use of a vision-based system. A similar approach was contributed by Amato et al. [5], where a collection of approximately 150 000 images were trained for classifying vacant parking spot.

But the above mentioned works do not present any ready-to-use solution for a smart parking system which provides fast and easy access for the user with the low installation and maintenance cost. Therefore research of smart parking solution methods still remains an urgent issue.

Today, there are multiple proposed methods and solutions in the smart parking domain. Some of the main sensors are placed on each parking spot or camera are positioned near to them, keeping track of vacant parking spots [1] [2]. However, these solutions require a power source and often maintenance of each of the sensors. Each solution has some benefits and drawbacks based on the sensor technology that is used to determine the state of the parking spots.

1. Ultrasonic Sensors

Today ultrasonic sensors are commonly used for a wide variety of applications, such as noncontact presence, motion detection, proximity, or distance measuring. Some of the main application areas for ultrasonic sensors are water and wastewater, mining, general industry, chemistry, and petrochemistry [3]. Ultrasonic technology is among the most preferred technologies for smart parking systems.

2. RFID

The RFID technology has been widely used in industry, electronic commerce, credit-cards, IDs cards and so on. Today, RFID is one of the key core technologies for the development of the Internet of Things solutions [4]. In particular, one of the application areas for RFID technology is parking solutions [9].

3. Magnetic Sensors

The use of magnetic sensors can be very useful when developing a system for detecting vacant parking spots. Since the magnetic sensors rely on the magnetic field of the Earth, it can detect when there are some anomaly changes, such as when a car is parked over the magnetic sensor [9].

4. Camera

Although sensors are widely used for vehicle detection they have some drawbacks. One of the main drawbacks is scalability, since the need to use one sensor per parking spot may be an expensive solution. To overcome this issue, vision-based systems can be used for vehicle detection [2]. This type of systems can provide a more scalable solution than a sensor-based system. A camera, which is placed in a location that covers a wide view of a parking area can be used to determine the status of several parking spots.

In order to compare the smart parking techniques, a summary of the common characteristics of smart parking systems are derived in Table 1. The estimated characteristics presented in the table below may vary depending on the number of parking places that the smart parking system covers.

Table 1

Installation Cost	Comparison of different parking detection techniques			
	Ultrasonic sensors	RFID	Magnetic sensors	Camera
Maintenance Cost	HIGH	HIGH	HIGH	LOW
Deployment Cost (Per unit)	HIGH	HIGH	HIGH	LOW
Deployment Cost (Per hour)	LOW	LOW	LOW	MEDIUM
Power Consumption	LOW	VARIABLE	VARIABLE	HIGH
Reliability (Weather)	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH
Reliability (Complexity)	HIGH	HIGH	HIGH	LOW
Software Complexity	LOW	LOW	LOW	HIGH
Scalability	LOW	LOW	LOW	HIGH
Flexibility	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH
Vehicle identification	NO	YES	NO	YES
Vehicle Recognition	YES	NO	VARIABLE	YES
Vehicle Recognition	NO	YES	YES	YES
Additional Requirements	-	Privacy & all vehicles need to have an RFID tag	-	Privacy and 770 Security

ДОДАТОК В

(обов'язковий)

СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



Коваленко Володимир Володимирович

Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору

Кваліфікаційна робота магістра
за спеціальністю 123 – комп'ютерна інженерія

Науковий керівник – д.ф.,ст.викл.каф. КПС
Павлова О.О.

Хмельницький - 2022

1

Мета, об'єкт та предмет дослідження

Мета: Підвищення зручності використання громадських парковок для забезпечення концепції розумного міста шляхом застосування технології розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору.

Об'єкт дослідження: програмно-технічні засоби кіберфізичної системи розумної парковки.

Предмет дослідження: технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж для розумної парковки.

Активна
Перейдіть

2

Задачі дослідження

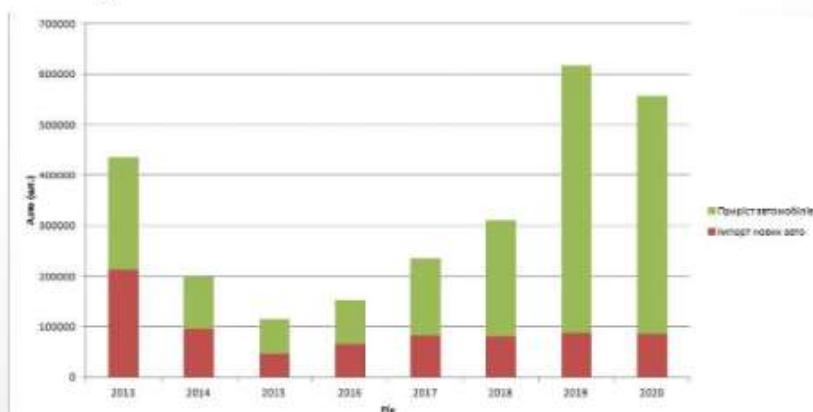
- 1) розробити метод застосування штучної нейронної мережі для ідентифікації об'єктів;
- 2) на основі розробленого методу розробити інформаційну модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування;
- 3) розробити програмну реалізацію інформаційної технології для розпізнавання та ідентифікації автомобілів на основі згорткової нейронної мережі у вигляді мобільного додатку для операційної системи Android OS.

Активат

3

Актуальність дослідження

- 1) значний приріст кількості автомобілів на дорогах України та Хмельницького за останні роки (діаграма);
- 2) наявна велика кількість проектів розумних паркінгів, але готові до використання прикладів не так вже і багато;
- 3) більшість смарт-паркінгів є платними, немає громадських розумних парковок.



Активат
Перейдіть
активувати

4

Наукова новизна

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів та алгоритмів навчання згорткових нейронних мереж для розпізнавання зображень та впровадження даних методів та алгоритмів у систему розумної парковки:

1. набув подальшого розвитку метод та алгоритм застосування згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень;
2. розроблено інформаційну модель на основі згорткової нейронної мережі для розпізнавання місць для паркування;
3. розроблено програмну реалізацію інформаційної технології для розпізнавання та ідентифікації автомобілів на основі згорткової нейронної мережі (серверну частину).

Активувати
Перейдіть
активувати

5

Практична цінність

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці апаратно-програмної інформаційної системи для розумної парковки на основі технології розпізнавання зображень за допомогою штучних нейронних мереж та її реалізації у вигляді серверної частини програмного забезпечення для мобільного додатку на базі ОС Android.

6

Парковка як одна із концепцій розумного міста

Розумне місто (*Smart City*) — це ефективна інтеграція фізичних, цифрових і людських систем в штучному середовищі заради сталого, благополучного і всебічного майбутнього для громадян.

Розумне місто — це єдина система, в якій органічно взаємопов'язані міські комунікації, інформаційні технології передачі даних та пристрої ІОТ.



Активат
Перейдіть
активувати

7

Аналіз технологій для реалізації розумних парковок

	Ультразвуковий датчик	RFID	Магнітний датчик	Камера
Вартість монтажу	ВИСОКА	ВИСОКА	ВИСОКА	НИЗЬКА
Вартість обслуговування	ВИСОКА	ВИСОКА	ВИСОКА	НИЗЬКА
Вартість обладнання (за одиницю)	НИЗЬКА	НИЗЬКА	НИЗЬКА	СЕРЕДНЯ
Споживання енергії	НИЗЬКЕ	РІЗНЕ	РІЗНЕ	ВИСОКЕ
Можливе транспортування	СКЛАДНО	СКЛАДНО	СКЛАДНО	ЛЕГКО
Апаратна складність	ВИСОКА	ВИСОКА	ВИСОКА	НИЗЬКА
Складність програмного забезпечення	НИЗЬКА	НИЗЬКА	НИЗЬКА	ВИСОКА
Масштабованість	НИЗЬКА	НИЗЬКА	НИЗЬКА	ВИСОКА
Надійність	ВИСОКА	ВИСОКА	ВИСОКА	ВИСОКА
Ідентифікація транспортного засобу	НЕМАЄ	ТАК	НЕМАЄ	ТАК
Розпізнавання перешкод	ТАК	НЕМАЄ	РІЗНЕ	ТАК

Активат
Перейдіть
активувати

8

Використання технологій для розумних парковок в Україні та світі

Назва	Використана технологія	Місце розташування	Короткий опис
SoftServe	Камера	Львів	Розроблене рішення складається з мобільного веб-додатку, а також розміщеного на в'їзді до паркінгу LCD-дисплея. Використовуючи встановлені на даху камери, система застосовує алгоритми машинного навчання для аналізу отриманих зображень.
MPS & Lamed	Камера	Київ	Система зчитує номерні знаки на автомобілях, залишених на паркувальних майданчиках. Далі за допомогою спеціального додатку знімається плата за паркування.
TIBA Parking	Камера	Ізраїль та США	Компанія Afcon Holdings Group є розробником системи автоматизації управління парковками. Компанія впровадила технології розпізнавання номерного знаку та автоматичної оплати стоянки.

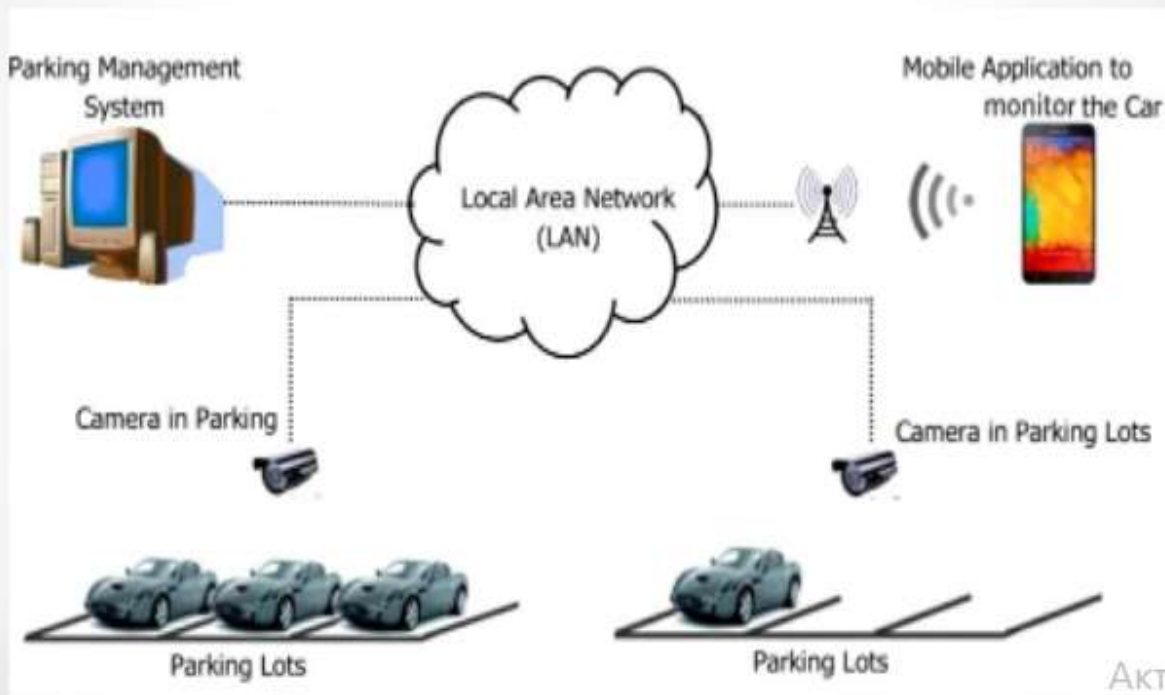
9

Аналіз існуючих рішень

Назва	Логотип	Вільнорозповсюджуваний чи платний	Країни поширення	Опис
Smart Parking		Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна	Австралія, Уельс, Майамі (США)	Додаток «Smart Parking» доступний для завантаження як для Android, так і для iOS, і містить безліч функцій, призначених для того, щоб допомогти водіям направляти автомобілі на доступні місця для паркування, повідомляти про умови та тарифи на автостоянці.
4Park Smart Parking App		Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна	Італія	Ця програма, доступна для Android та iOS, дозволяє користувачам взаємодіяти з усіма системами Smart Parking.
Smart Parking Tauron		Додаток безкоштовний, парковка безкоштовна для співробітників компанії	Польща	Корпоративний мобільний додаток на базі Android та iOS для розумного паркування компанії
GCC Smart Parking		Додаток безкоштовний, але послуга паркування платна	Ченнаї, Індія	Додаток GCC Smart Parking розроблено з кількома функціями технології автоматизованого паркування

10

Модель розумної парковки



Активна
Перейдіть
активувати

11

Вибір технологій для реалізації



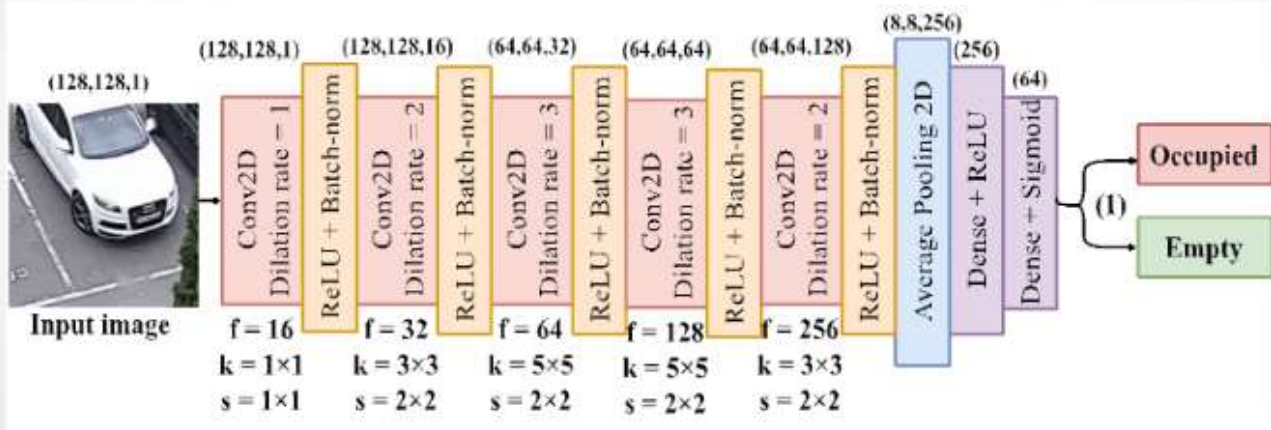
а) OpenCV+3NM



б) GCV API

Технологія	Точність класифікації, %
OpenCV+3NM	58.9
GCV API	77,08

Активна
Перейдіть
активувати



Активат
Перейдіть

Набір даних PKLot: було зібрано підмножину вихідного набору даних з камер зовнішнього спостереження ХНУ з 390 випадковими вибірками зображень 1280×720 пікселів. Транспортні засоби в наборі даних PKLot були зображені лише в орієнтації згорі-вниз.

Експериментальна установка: усі обчислювальні експерименти проводилися на стеку Python версії 3.8 із Keras для обчислень на стороні сервера. Розрахунки проводилися на 8-ядерному процесорі Ryzen 2700 і одній графічній карті GeForce GTX1080 з 8 ГБ пам'яті.

Методологія: запропонований підхід до технології CV зображено на наступних слайдах

14

Набори даних, які застосовуються у методі



(a)

а) майже всі паркомісця вільні



(b)

б) більшість паркомісць зайняті

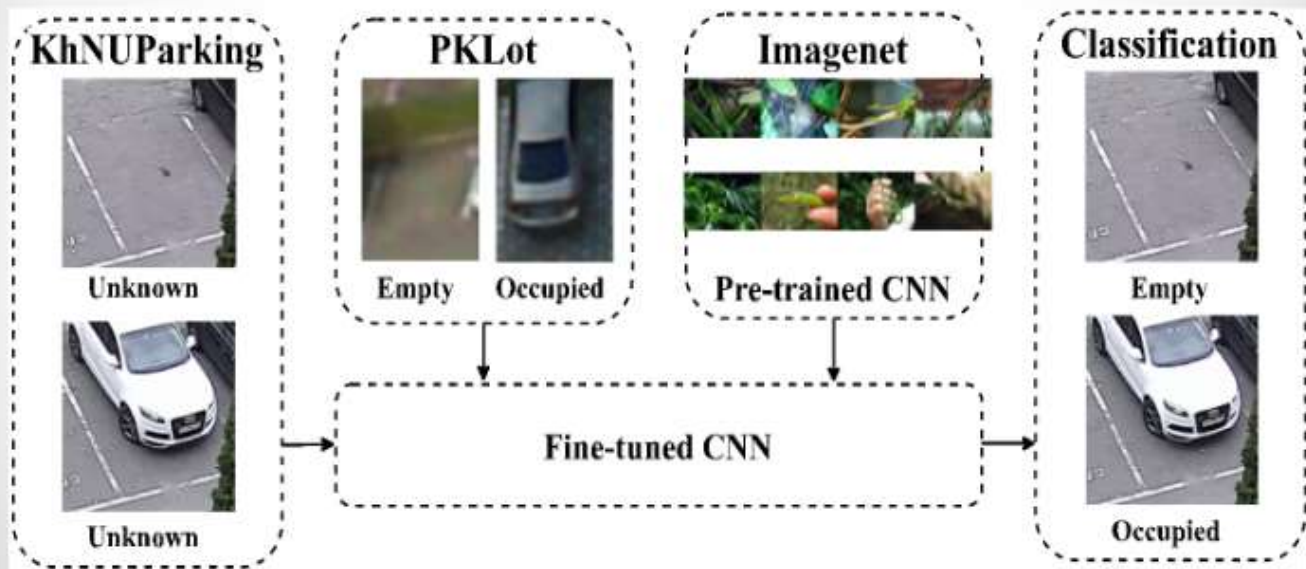
$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

де TP представляє справжні позитивні випадки в наборі даних тестування, TN означає істинно негативні випадки, FN позначає хибнопозитивні випадки, а FP представляє помилково негативні випадки.

Активувати
Перейдіть
активувати

15

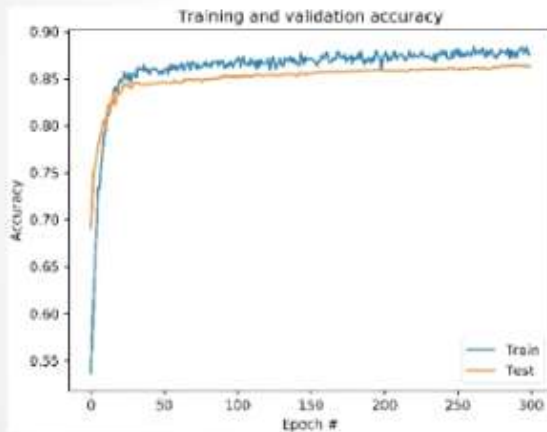
Інформаційна модель застосування ЗНМ для розпізнавання паркомісць



Активувати
Перейдіть

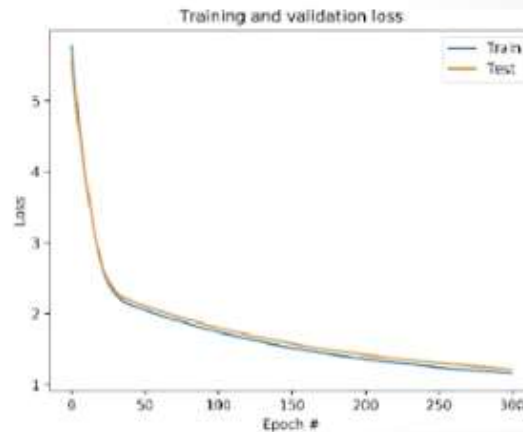
16

Результати експериментів



(a)

a) – точність налаштування та перевірки



(b)

b) – втрати під час налаштування та перевірки

Активаци
Перейдіть

17

Результати експериментів

		Empty	Occupied
Actual cases	Empty	748	321
	Occupied	162	2069
		Predicted cases	

Правильно визначено 748 порожніх паркомісць та 2069 зайнятих паркомісць; при цьому 321 вільних ділянок було класифіковано неправильно, а 162 зайнятих ділянок визначено вільними.

Отже, загальна точність класифікації склала 85,34%.

Активаци
Перейдіть

18

Результати експериментів

Під час візуалізації кількох неправильно визначених місць для паркування було помічено, що ці паркомісця здебільшого містили частини транспортних засобів, людей або інші об'єкти всередині зображення.



Актив
Перейді

19

Результати експериментів



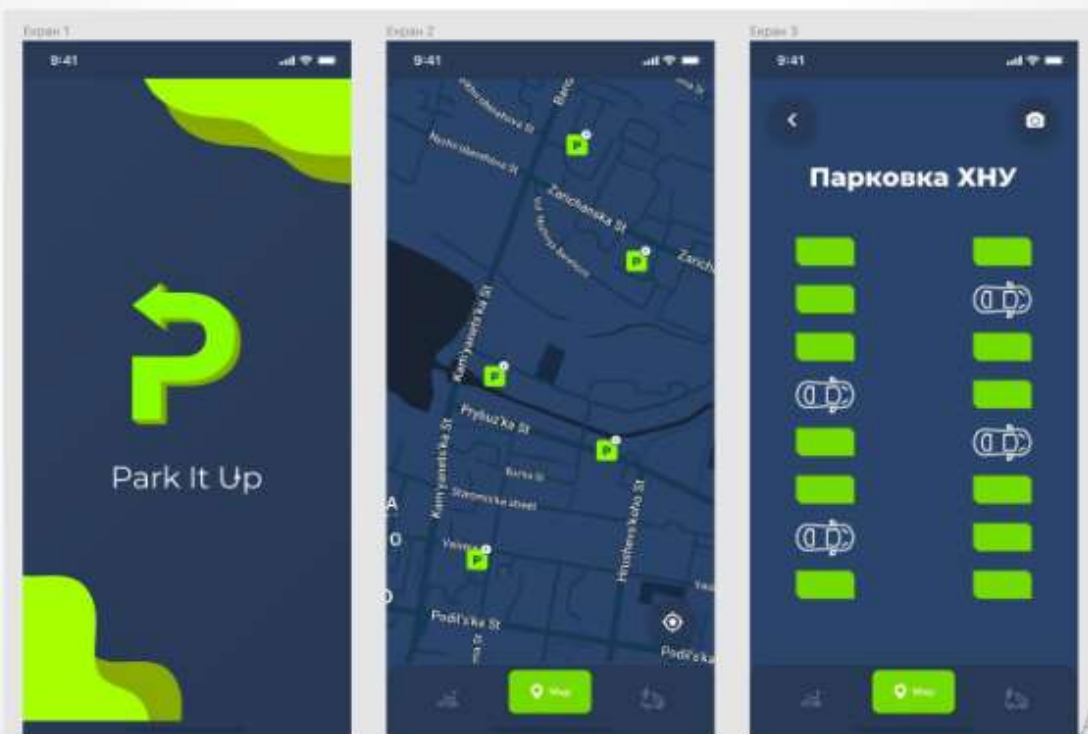
Актив
Перейді

Декілька відомих моделей, а саме AlexNet, VGG-16 та MobileNetV2 були порівняні з представленою у роботі моделлю ЗНМ з точки зору їх швидкодії та точності. Результати класифікації наведені в таблиці:

Підхід	Час виконання на ЦП, сек	Точність, %
Google Cloud Vision API	0.21	58.90
AlexNet	0.54	77.31
VGG-16	0.62	84.10
MobileNetV2	0.96	89.26
Запропонована ЗНМ	0.15	85.34

Отже, запропонована у роботі модель на основі ЗНМ може обробити приблизно 66 паркомісць за одну секунду на ЦП з точністю 85,34%.

Активна
Перейдіть



Активна
Перейдіть

За темою дипломної роботи опубліковано англomовну статтю у фаховому науковому журналі «Комп'ютерні системи та інформаційні технології» CSIT, тези для участі у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук (АПКН-2021), подана стаття для участі у Міжнародному науково-практичному воркшопі IntelITSIS 2022 з подальшою публікацією у періодичному виданні, яке індексується у наукометричних базах Scopus та [Web of Science](#).

Було взято участь у Всеукраїнській науково-практичній конференції Актуальні Проблеми Комп'ютерних Наук.

Також роботу було представлено на Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт BlackSeaSciense 2022, де вона посіла 3 призове місце.

Активаци
Перейдіть
активувати

Отже, у ході дослідження було проведено аналіз інформаційних технологій розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору. На основі аналізу була обрана технологія Google Cloud Vision для розробки кібер-фізичної системи для розумного паркування на основі технології комп'ютерного зору.

Вперше розроблено модель на основі тонко налаштованої згорткової нейронної мережі для виявлення порожніх і зайнятих слотів на зображеннях парковок, зібраних з набору даних [KhNUParking](#). На основі досягнутих результатів можна спростити продуктивність виявлення парковок і підвищити його точність. Також було зроблено висновок про те, що технологія Google Cloud Vision як детектор паркувальних місць і попередньо навчена згортка нейронна мережа як екстрактор і класифікація функцій були прийняті для розробки кіберфізичної системи для розумного паркування.

Подальші дослідження буде присвячено розробці серверної та клієнтської частин у вигляді мобільного додатка, який відстежує наявність вільних місць на парковці університету.

Активаци
Перейдіть

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

Дата перевірки:
11.05.2022 07:21:23 EEST

Дата звіту:
11.05.2022 07:23:01 EEST

ID перевірки:
1011137435

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005591

Назва документа: Коваленко Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного з...

Кількість сторінок: 82 Кількість слів: 10959 Кількість символів: 87893 Розмір файлу: 6.02 MB ID файлу: 1011034778

12.7% Схожість

Найбільша схожість: 6.13% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1010865386)

7.39% Джерела з Інтернету

13

Сторінка 71

6.22% Джерела з Бібліотеки

71

Сторінка 71

1.34% Цитат

Цитати

2

Сторінка 72

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи

2

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 3.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 103385 Название: Киберфизична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору. Добавлено в БД: 2022-05-11 Автори: Коваленко В.В. Руководитель: Павлова О.О. Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	78688	583	2191 (3%)	28 (5%)

Источники плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

Активация Windows
Перейти до раздела "Настройки", шаг

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Коваленко Володимир Володимирович

Тема: Кіберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 100 с.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є підвищення зручності використання громадських парковок для забезпечення концепції розумного міста шляхом застосування технології розпізнавання зображень на основі комп'ютерного зору.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано галузь розумних парковок, проведено огляд літературних джерел та виконано порівняльний аналіз існуючих рішень із застосуванням штучних нейронних мереж для розумних парковок . У другому розділі досліджено принцип роботи технологій розпізнавання зображень на основі штучних нейронних мереж, зокрема OpenCV та Google Cloud Vision API. У третьому розділі розроблено метод застосування згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень автомобілів для кіберфізичної системи розумної парковки. У четвертому розділі побудовано структурну схему кіберфізичної системи розумної парковки з використанням технології розпізнавання зображень на основі штучних нейронних мереж. Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні існуючих методів роботи з технологією розпізнавання зображень із застосуванням згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень для . Вперше розроблено інформаційну модель

застосування згорткової нейронної мережі для розпізнавання зображень автомобілів.

4. Позитивні сторони роботи: отримання двох пунктів наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи: -

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно А (4,75).

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Горшак О.В. д.т.н. проф., зав. каф. ЮН

“ 11 ” травня 2022 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Коваленко Володимир Володимирович
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-20-1

ЗАЯВА

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

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

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

11.05.2022

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Киберфізична система розумної парковки на основі технології комп'ютерного зору

Автор: Коваленко Володимир Володимирович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Павлова О.О., д.ф., ст.викл. каф.КІС

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

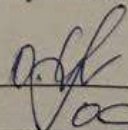
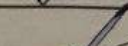
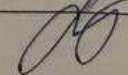
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є входними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 12,7% і адресується до 64 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

О.О. Павлова

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко