

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 попередження дорожньо-транспортних пригод.
Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля
за допомогою комп'ютерного зору»

КвРКІ.220101.18.01.01 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-22-1

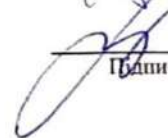
Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання

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

29 04 2024 р.



Бідінська А.Є.
Ініціали, прізвище



Говорущенко Т.О.
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2024

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.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Білінській Аді Євгеніївні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Керівник проекту (роботи) Говорущенко Т.О., д.т.н., професор

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

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

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

Огляд можливих рішень для підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

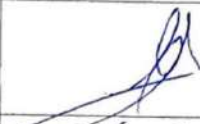



Обрахунок безпечної дистанції між транспортними засобами для підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Проведення моделювання підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Програмне забезпечення для підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

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

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КВРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2024	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка моделей та моделювання поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.2024	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

Студент


Підпис

Білінська А.Є.

Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи)


Підпис

Говорущенко Т.О.

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Автор роботи: Білінська Ада Євгеніївна

Керівник роботи: доктор техн. наук, професор Говорущенко Т. О.

Пояснювальна записка: 154 с., 53 рис., 12 табл., 2 дод., 85 джерел.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЗАПОБІГАННЯ ДТП, БЕЗПЕЧНА ВІДСТАНЬ, ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ДВОМА ОБ'ЄКТАМИ, РОЗПІЗНАВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ГААР-ПОДІБНІ ОЗНАКИ, ADABOOST, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР.

Об'єкт дослідження – процес визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Предметом дослідження є методи та алгоритми розпізнавання транспортних засобів, а також моделі визначення безпечної відстані між ними, які використовують дані з однієї або двох камер.

Мета кваліфікаційної роботи – покращення визначення безпечної відстані між автомобілями та ефективного запобігання дорожньо-транспортним пригодам шляхом розроблення підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Для розв'язання поставлених задач, були використані *методи дослідження* такі, як моделювання мікроскопічної симуляції дорожнього руху, комп'ютерного зору, зокрема алгоритми розпізнавання об'єктів на основі Гаар-подібних ознак і AdaBoost, а також фізичної формули для розрахунку безпечної відстані, використовуючи зображення з однієї та двох камер.

Наукова новизна:

1) розроблено новий метод ідентифікації транспортних засобів та визначення безпечної дистанції, який відрізняється від відомих використанням мікроскопічної симуляції дорожнього руху, а також покращенням точності формул

для визначення відстані між автомобілями, і дозволяє встановити оптимальні параметри безпечної відстані, які ефективно в майбутньому зможуть запобігати аваріям на дорогах, а також забезпечує більш швидке і точне розпізнавання транспортних засобів, що сприяє підвищенню безпеки руху;

2) удосконалено архітектуру підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору, яка запобігає порушенню безпечної відстані між транспортними засобами під час руху з підвищеною точністю та ефективністю та сприяє підвищенню рівня безпеки на дорогах.

На основі проведених досліджень розроблено програмне забезпечення для визначення безпечної відстані між автомобілями, а також архітектурну схему, яка включає підключення компонентів до центрального вузла системи на базі Raspberry Pi 3 Model B+. Моделювання підсистеми в Packet Tracer дозволило візуалізувати роботу майбутньої підсистеми. Також проведено симуляцію дорожнього трафіку на мікрорівні, щоб визначити оптимальні параметри безпечної відстані з урахуванням швидкості транспортних засобів та інших факторів.

Програмне забезпечення підсистеми містить модуль розпізнавання об'єктів на дорозі та механізм контролю безпечної відстані, що дозволяє виявляти ризики та попереджати водіїв про небезпечну відстань між автомобілями, допомагаючи запобігти аваріям. Тестування показало ефективність підсистеми, з мінімальними похибками, які не впливають на безпеку на дорозі. Компоненти підсистеми мають в майбутньому ефективно інтегруватися в єдину систему попередження дорожньо-транспортних пригод.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні рівня безпеки на дорогах завдяки впровадженню передових технологій розпізнавання та моніторингу дорожньої обстановки. Розроблена підсистема може бути інтегрована в автомобілі, надаючи водіям додатковий рівень контролю та захисту. У результаті це може призвести до зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод та покращення якості перевезень.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП.....	6
1. ОГЛЯД МОЖЛИВИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ.....	8
1.1 Аналіз статей для вирішення поставленого завдання.....	9
1.2 Аналіз діючих систем для автомобілів на ринку.....	12
1.3 Оцінка відеокамер для зчитування зображення перед автомобілем	17
1.4 Рекомендований час реакції при різних умовах	22
1.5 Проблеми обчислення безпечної відстані між транспортними засобами.....	23
1.6 Висновки	25
2. ОБРАХУНОК ДИСТАНЦІЇ МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ .	26
2.1 Обрахунок відстані між автомобілями за допомогою однієї камери	26
2.2 Вимірювання відстані до об'єкта перед автомобілем за допомогою двох камер.....	35
2.3 Метод ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми.....	39
2.4 Висновки	44
3. ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ.....	46
3.1 Принципи побудови симуляції дорожнього трафіку	46
3.2 Проведення моделювання за допомогою Packet Tracer	53

3.3 Проведення моделювання за допомогою мови програмування Python	56
3.3 Висновки	77
4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ.....	79
4.1 Алгоритм обчислення відстані	79
4.2 Діаграма станів всієї підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями	85
4.2.1 Підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry Pi.....	87
4.2.2 Діаграма пакетів	90
4.2.3 Діаграма прецедентів.....	91
4.3 Проведення тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями	92
4.3.1 Тестування визначення автомобіля на зображенні	93
4.3.2 Тестування визначення автомобіля на відео	97
4.3.3 Тестування визначення відстані між автомобілями під час моделювання ситуації.....	99
4.3.4 Тестування визначення відстані між автомобілями на відео	101
4.4 Висновки	102
ВИСНОВКИ	103
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	105
ДОДАТОК А Копії опублікованих наукових статей	114
ДОДАТОК Б Презентація до захисту кваліфікаційної роботи	148

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДТП – Дорожньо-транспортна пригода

CNN – Convolutional neural network

RoI – Region of Interest

SINet – Selective Integrated Network

AEB – Automatic Emergency Braking

TPMS – Tire Pressure Monitoring System

VGA – Video Graphics Array

CIF – Common Intermediate Format

SCCB – Serial Camera Control Bus

ВСТУП

В сучасному світі, насиченому автотранспортом, питання безпеки на дорогах є надзвичайно актуальним. Щорічно збільшується кількість транспортних засобів, а разом із цим наші дороги стають свідками зростання кількості трагічних подій [1]. У перше півріччя 2021 року лише в Україні сталося понад 86 тисяч дорожньо-транспортних пригод, при цьому більше 14 тисяч випадків пов'язані з недотриманням безпечної дистанції [2].

Ці статистичні дані вражають не лише своєю об'ємністю, але й жахливими наслідками для учасників дорожнього руху. Понад сімсот людей отримали травми, а 27 втратили своє життя через трагічні випадки, пов'язані із недостатньою безпечною відстанню між автомобілями [2].

За 2023 рік статистика теж невтішна. Часті випадки ДТП, які призводили до загибелі та травмування людей, відбувалися через перевищення допустимої дистанції між автомобілями. Було зафіксовано близько 8 тисячі таких випадків [3].

В даному контексті, виникає необхідність впровадження інноваційних рішень для підвищення рівня безпеки на дорогах. Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля, застосовуючи передові технології комп'ютерного зору, стає важливим елементом стратегії протидії аварійності. Її завданням є не лише виявлення потенційно небезпечних ситуацій, але й попередження їх перед настанням, що веде до зменшення кількості аварій та мінімізації трагічних наслідків.

Об'єкт дослідження – процес визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Предметом дослідження є методи та алгоритми розпізнавання транспортних засобів, а також моделі визначення безпечної відстані між ними, які використовують дані з однієї або двох камер.

Мета кваліфікаційної роботи – покращення визначення безпечної відстані між автомобілями та ефективного запобігання дорожньо-транспортним пригодам

шляхом розроблення підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Методи дослідження: моделювання мікроскопічної симуляції дорожнього руху, комп'ютерного зору, зокрема алгоритми розпізнавання об'єктів на основі Гаар-подібних ознак і AdaBoost, а також фізичні формули для розрахунку безпечної відстані, використовуючи зображення з однієї та двох камер.

Наукова новизна:

1) розроблено новий метод ідентифікації транспортних засобів, який відрізняється від відомих використанням мікроскопічної симуляції дорожнього руху, а також покращенням точності формул для визначення відстані між автомобілями, і дозволяє встановити оптимальні параметри безпечної відстані, які ефективно в майбутньому зможуть запобігати аваріям на дорогах, а також забезпечує більш швидке і точне розпізнавання транспортних засобів, що сприяє підвищенню безпеки руху;

2) удосконалено архітектуру підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору, яка запобігає порушенню безпечної відстані між транспортними засобами під час руху з підвищеною точністю та ефективністю та сприяє підвищенню рівня безпеки на дорогах.

На основі проведених досліджень розроблено програмне забезпечення для визначення безпечної відстані між автомобілями, а також архітектурну схему, яка включає підключення компонентів до центрального вузла системи на базі Raspberry Pi 3 Model B+. Моделювання підсистеми в Packet Tracer дозволило візуалізувати роботу майбутньої підсистеми. Також проведено симуляцію дорожнього трафіку на мікрорівні, щоб визначити оптимальні параметри безпечної відстані з урахуванням швидкості транспортних засобів та інших факторів.

Програмне забезпечення підсистеми містить модуль розпізнавання об'єктів на дорозі та механізм контролю безпечної відстані, що дозволяє виявляти ризики та попереджати водіїв про небезпечну відстань між автомобілями, допомагаючи запобігти аваріям. Тестування показало ефективність підсистеми, з мінімальними

похибками, які не впливають на безпеку на дорозі. Компоненти підсистеми мають в майбутньому ефективно інтегруватися в єдину систему попередження дорожньо-транспортних пригод.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні рівня безпеки на дорогах завдяки впровадженню передових технологій розпізнавання та моніторингу дорожньої обстановки. Розроблена підсистема може бути інтегрована в автомобілі, надаючи водіям додатковий рівень контролю та захисту. У результаті це може призвести до зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод та покращення якості перевезень.

Отже, впровадження такої системи стає кроком у майбутнє, де технології допомагають зробити наші дороги безпечнішими та більш захищеними для кожного учасника дорожнього руху.

За темою дипломної роботи були опубліковані наукові статті, в яких я брала участь як співавтор (додаток Б):

1. Т. Новорущенко, О. Павлова, Y. Binkovskyi, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk. Road Accident Prevention System. In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2023. Pp. 1-7.

2. О. Павлова, А. Білінська, А. Головатюк, Я. Бінковський, Д. Мельничук. Automated system for determining speed of cars ahead. Computer systems and information technologies. 2023. Pp. 35-39.

3. А. Білінська, Я. Бінковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Автоматичне виявлення автомобільних порушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1. С. 176-185.

4. А. Білінська, Я. Бінковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Аналіз даних для підтримки автоматичного попередження водія для кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024.

1 ОГЛЯД МОЖЛИВИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

1.1 Аналіз статей для вирішення поставленого завдання

Для початку розробки підсистеми було здійснено аналіз наукових статей для вирішення за схожою тематикою. Для виявлення транспортних засобів з різними характеристиками автомобіля (довжина/висота) використовують створення нейронної мережі [4]. Інноваційні методи виявлення транспортних засобів на основі технічного зору досягли значних успіхів завдяки глибоким згортковим нейронним мережам (CNN). Проте існуючі алгоритми на основі цих мереж стикаються з проблемою чутливості до масштабу при виявленні об'єктів, що може бути проблематичним у випадку транспортних засобів з різними розмірами. В даній роботі авторами було розглянуто джерела цієї чутливості та визначено дві ключові проблеми:

- 1) руйнування структури дрібномасштабних об'єктів через існуючий об'єднаний область інтересу (RoI);
- 2) велика внутрішньокласова відстань через велику дисперсію масштабів.

На основі цього у даному вирішенні завдання використовують нечутливу до масштабу згорткову нейронну мережу (SINet), яка ефективно вирішує ці проблеми. SINet використовує контекстно-орієнтоване об'єднання RoI для збереження контексту та структури маломасштабних об'єктів і багатогалузеву мережу прийняття рішень для зменшення внутрішньокласової відстані. Ці методи полегшують виявлення транспортних засобів різних розмірів, забезпечуючи при цьому високу точність і швидкість обробки. Ця система є досить простою, але водночас демонструє значну точність вимірювань.

У статті автори пропонують використовувати стереокамери, розміщеної в головному транспортному засобі, для виявлення та вимірювання відстаней. Система використовує дві камери для збору даних, а результати експериментів підтверджують високу точність методу. Важливі параметри, такі як геометричні

похідні та технічні дані камер, використовуються для обчислення відстаней в реальному часі [5]. Цей метод може бути успішно використаний у різних системах, включаючи системи підтримки безпеки водіння та автономне водіння.

У іншій статті [6] застосовується алгоритм, що комбінує згорткову нейронну мережу (CNN) з методами комп'ютерного зору, що дозволяє розпізнавати на малопотужних платформах малої форми. Ці платформи є легкими, портативними та можуть бути встановлені на автономних транспортних засобах при денному освітленні.

На основі проведеного аналізу було створено таблицю 1.1 з порівнянням наукових публікацій.

Таблиця 1.1 – Огляд наукових статей для вирішення завдання

Джерело	Рік	Алгоритм	Переваги	Недоліки
[4]	2019	Масштабно-нечутлива глибока згорткова нейронна мережа (SINet)	Нейронна мережа для швидкого та точного виявлення. Використання контекстно-орієнтованого RoI pooling та мережі рішень з кількома гілками для покращення виявлення.	Щоб забезпечити оптимальну точність, може вимагати високих обчислювальних ресурсів та тренування на великих наборах даних.
[5]	2020	Метод заснований на використанні стереокамери	Система використовує стереокамеру для точного вимірювання	Залежність від конкретного обладнання,

Кінець таблиці 1.1 – Огляд наукових статей для вирішення завдання

Джерело	Рік	Алгоритм	Переваги	Недоліки
[5]	2020	Метод заснований на використанні стереокамери	відстані та має ефективний двоетапний процес виявлення. Простий розрахунок відстані та можливість реального застосування в різних системах.	обмежене порівняння, можливі проблеми з простотою алгоритму в складних умовах руху, вимоги до великого датасету та обмеження веб-камер.
[6]	2023	Згортова нейронна мережа (CNN) та техніки комп'ютерного зору	Висока точність та швидкість роботи. Здатність працювати на легких та портативних платформах без апаратних прискорювачів.	Можливі обмеження в неповних умовах освітлення чи складних дорожніх ситуаціях.

Загалом вибір конкретного методу буде залежати від вимог проекту, наявності ресурсів та обраної технологічної стратегії, і важливо враховувати контекст та специфіку застосування для прийняття обґрунтованого рішення.

1.2 Аналіз діючих систем для автомобілів на ринку

Для реалізації підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями потрібно також провести огляд автомобільних систем безпеки, які уже широко використовуються, зокрема Skoda, Mercedes-Benz та Tesla.

Для початку було розглянуто систему безпеки Skoda. Компанія працює над вдосконаленням своїх систем безпеки. Skoda пропонує широкий спектр систем безпеки, які допомагають захистити водіїв, пасажирів і пішоходів. Ці системи включають [7-10]:

1. Активні системи безпеки: ці системи працюють, щоб запобігти зіткненням, наприклад, система контролю дистанції попереду (Front Assist), система попередження про зіткнення з пішоходами (Pedestrian Detect), система попередження про зміну смуги руху (Lane Assist) і система автоматичного гальмування в екстрених ситуаціях (AEB).

2. Пасивні системи безпеки: ці системи працюють, щоб захистити пасажирів у разі зіткнення, наприклад, подушки безпеки, шторки безпеки, ремені безпеки і системи кріплення дитячих крісел.

3. Додаткові системи безпеки: ці системи пропонують додатковий захист, наприклад, система контролю сліпих зон (Blind Spot Detect), система контролю за станом водія (Driver Alert) і система моніторингу тиску в шинах (TPMS).

Системи безпеки Skoda розроблені з урахуванням найсуворіших міжнародних стандартів безпеки. Вони допомагають зробити водіння більш безпечним і спокійним.

Але слід також детальніше розглянути підсистеми, які схожі на ідею реалізації визначення безпечної відстані між автомобілями, до яких можна віднести Front Assist, Lane Assist та Blind Spot Detect.

Front Assist – це система контролю дистанції попереду, яка використовує радарні датчики для виявлення транспортних засобів, що знаходяться попереду, за решіткою радіатора. Вони генерують електромагнітні хвилі, які відбиваються від об'єктів, що знаходяться попереду автомобіля. Датчики вимірюють час, який

потрібно електромагнітним хвилям, щоб повернутися, і використовують цю інформацію для визначення відстані до об'єкта [11].

Схематичне зображення дії підсистеми Front Assist зображено на рисунку 1.1. Система попереджає водія звуковим сигналом і індикатором на приладовій панелі, якщо відстань до транспортного засобу, що рухається попереду, є недостатньою. У разі, якщо водій не реагує на попередження, система може самостійно задіяти гальма.

Lane Assist – це система асистента руху по смузі, яка використовує камеру для виявлення дорожньої розмітки. Камера розташована в передній частині автомобіля, під лобовим склом, там де центральне дзеркало [11]. Вона сканує дорогу і виявляє дорожню розмітку. Система попереджає водія звуковим сигналом і індикатором на приладовій панелі, якщо автомобіль відхиляється від смуги руху.



Рисунок 1.1 – Підсистема безпеки Front Assist [6]

Blind Spot Detect - це система контролю сліпих зон, яка використовує радарні датчики, розташовані в задніх бамперах автомобіля, для виявлення транспортних засобів, що знаходяться в сліпих зонах. Система попереджає водія світловими і звуковими сигналами, якщо в сліпій зоні знаходиться транспортний засіб [12].

Отримані дані можна підсумувати загальним порівнянням підсистем Scoda (таблиця 1.2), які пов'язані з темою визначення безпечною відстані між автомобілями.

Таблиця 1.2 – Порівняння трьох підсистем системи безпеки Scoda

Назва підсистеми	Front Assist	Lane Assist	Blind Spot Detect
	Система контролю дистанції попереду	Асистент руху по смугі	Система контролю сліпих зон
Інструменти виявлення	Радарні датчики	Камера	Радарні датчики
Функції	Попередження про зіткнення, екстрене гальмування	Попередження про відхилення від смуги руху	Попередження про транспортні засоби в сліпих зонах
Діє при швидкості від	0 км/год	65 км/год	65 км/год
Доступність	Стандартна функція	Доступна як опція	Доступна як опція

Компанія Mercedes-Benz є одним із лідерів у галузі безпеки автомобілів. Бренд постійно інвестує в розробку нових технологій безпеки, щоб зробити свої автомобілі якомога безпечнішими для водіїв, пасажирів і інших учасників дорожнього руху.

Система безпеки Mercedes-Benz також складається з кількох підсистем, які в свою чергу поділяються на дві основні компоненти: пасивні та активні.

Підсистема кругового огляду Mercedes-Benz найбільш наближена до тематики визначення безпечної відстані між автомобілями. Вона складається з чотирьох камер, розташованих у передній, задній частині та бічних сторонах

автомобіля. Ці камери передають зображення на екран COMAND на приладовій панелі, створюючи єдину панорамну перспективу 360 градусів [13-14].

Підсистема кругового огляду, дію якої зображено на рисунку 1.2, може бути використана для кількох цілей, включаючи:

1. Паркування: система кругового огляду може допомогти побачити, що знаходиться навколо автомобіля під час паркування. Це може бути особливо корисно в обмежених просторах або при паркуванні заднім ходом.

2. Маневрування: система кругового огляду може допомогти безпечно маневрувати на низькій швидкості. Це може бути корисно, коли водій їде у вузьких проходах або на задньому ході.

3. Безпека: система кругового огляду може допомогти уникнути перешкод, включаючи пішоходів, велосипедистів та інші автомобілі.



Рисунок 1.2 – Дія системи кругового огляду Mercedes-Benz [13]

Система кругового огляду є стандартною функцією на багатьох моделях Mercedes-Benz.

Tesla відома своїми інноваційними технологіями, і система безпеки не є винятком. Система безпеки Tesla включає в себе широкий спектр функцій, які допомагають запобігти зіткненням та зробити дороги більш безпечними для всіх. Її в дії зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Дія системи безпеки автомобіля Tesla [15]

До однієї з підсистем входять вісім камер і потужна обробка зору, що забезпечують 360 градусів видимості на відстані до 250 метрів. До цього переліку входять [14-15]:

- 1) дві бічні камери заднього виду (максимальна відстань 100 м);
- 2) ширококутна передня камера (максимальна відстань 60 м);
- 3) головна передня камера (максимальна відстань 150 м);
- 4) вузька передня камера (максимальна відстань 250 м);
- 5) камера заднього виду (максимальна відстань 50 м);
- 6) дві передні бічні камери (максимальна відстань 80 м).

Для використання такого набору камер, кожен автомобіль Tesla має потужний набір інструментів обробки зору, розроблений Tesla. Побудований на основі глибокої нейронної мережі. Використовуючи сучасні камери, датчики та обчислювальну потужність, Tesla може долати вузькі та складніші дороги.

Підсумовуючи огляд даних систем, можна зробити висновок, що кожна автомобільна компанія використовує різну кількість камер та різні технології для обробки зображення, а основне що вони є вбудованими в автомобілі відповідної марки.

1.3 Оцінка відеокамер для зчитування зображення перед автомобілем

Одним з компонентів підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля є відеокамера. При виборі слід враховувати ряд параметрів, які визначатимуть її продуктивність та надійність.

Тому наступним кроком є порівняння ряду камер, зосереджуючись на їхніх технічних характеристиках та можливостях. Мета порівняння – визначити оптимальний вибір для системи зчитування автомобілів, що забезпечить надійне визначення безпечної відстані на дорозі.

Модуль VGA CIF камери Arduino TZT OV7670 може стати ідеальним вибором. Ця камера забезпечує високу роздільну здатність 640x480 пікселів (0.3 МП), що гарантує чітке та деталізоване зображення. Дану відеокамеру зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Модуль VGA CIF камери Arduino TZT OV7670 [17]

Однією з ключових переваг є можливість програмування якості зображення, формату даних і режиму передавання, що надає повний контроль над відображеним відео. Завдяки інтерфейсу Serial Camera Control Bus (SCCB) – шині I2C, можна легко налаштувати оброблення зображення шляхом записування даних у спеціальні регістри мікросхеми OV7670.

Ця камера підтримує стандарт VGA і може працювати з частотою дискретизації 30 кадрів на секунду, що відповідає вимогам для точного визначення

безпечної відстані перед автомобілем. Також одними з переваг є гнучкість у виборі розмірів кадрів, таких як QVGA, CIF та QCIF, що дозволяє підлаштовувати параметри для конкретних потреб [16-17].

Також компактні розміри плати (3.4x3.5 см), невелика вага (12 грамів) та характеристики, такі як видимий кут 25 градусів, роблять цю камеру зручною для встановлення та використання в автомобільній системі безпеки. Ціна становить приблизно 150 грн [17-20].

Модуль VGA CIF камери Arduino TZT OV7670 не підтримує пряме програмування на мові Python. Зазвичай такі модулі використовують мікроконтролери, такі як Arduino, і програмуються мовами, специфічними для цих мікроконтролерів, такими як Arduino IDE, яка використовує мову програмування C/C++.

Якщо потрібно взаємодіяти з камерою за допомогою Python, можливо, потрібно буде використати інші пристрої чи мікроконтролери, які підтримують зв'язок з Python. У такому випадку, важливо визначити, чи є доступні бібліотеки або інтерфейси програмування, які дозволять взаємодіяти з обраною камерою за допомогою Python.

Вибір відеокамери TTL UART NTSC від Adafruit (рисунок 1.5), для підсистеми з метою визначення безпечної відстані, може бути вигідним з численних причин.

Ця камера ідеально підходить для інтеграції з контролерами Arduino та міні-комп'ютерами Raspberry Pi, надаючи можливість легко створити систему безпеки, реєстратор руху, іграшку чи систему "Розумний будинок". Зручний та доступний інтерфейс полегшує підключення камери та розширює її можливості в проєкті.

Технічні характеристики камери свідчать про її високий рівень функціональності. Система автоматичного балансу білого, авто-контрасту, авто-яскравості та розпізнавання руху забезпечить чіткі та точні зображення в різних умовах освітлення [22].



Рисунок 1.5 – Відеокамера TTL UART NTSC від Adafruit [20]

Зменшення розмірів картинки дозволяє більш ефективно зберігати зображення при збереженні високої якості. Ручне фокусування від 5 до 15 метрів дозволяє адаптувати камеру до різноманітних відстаней у проєкті.

Компактні розміри модуля (20мм x 18мм x 9мм) та низька вага (3 грами) роблять її ідеальним вибором для вбудованих систем перед автомобілем користувача. З великим кутом зору у 120 градусів, ця камера забезпечить обширне охоплення для ефективного визначення безпечної відстані.

Одним з оптимальних виборів для системи зчитування автомобілів перед автомобілем користувача також є модуль на базі Wi-Fi ESP32 з камерою OV2640. Розпинівка ESP32S-CAM модуль HW-818 зображено на рисунку 1.6.

Його відмінні характеристики роблять його одним з найкращих виборів для визначення безпечної відстані. Завдяки підтримці Bluetooth 4.2, Wi-Fi 802.11 b/g/n/e/i, і різним інтерфейсам, таким як UART, SPI, I2C, PWM, цей модуль готовий до використання в різних застосунках [23].

Модель HW-818 забезпечує надійну роботу при напрузі 5В, а обсяг TF Card 4Гб дозволяє ефективно зберігати дані. Із пам'яттю SPI Flash 32Mbit і RAM у внутрішній пам'яті 520KB, додатковою зовнішньою 4MPSRAM і роздільною здатністю 2Мп OV2640, цей модуль забезпечить високу якість відеопотоку.



Рисунок 1.6 – Розпинівка ESP32S-CAM модуль HW-818 [24]

З його потужністю відповідно до стандартів 802.11b/g/n і швидкістю передачі даних 115200, що дозволяє отримати надійні результати у визначенні безпечної відстані. Цей модуль також ідеально підходить для застосувань Інтернету речей, включаючи домашні інтелектуальні пристрої, промислове бездротове управління, моніторинг, QR бездротову ідентифікацію, системи бездротового позиціонування та інші. Вартість камери становить приблизно на ринку 280 грн [25-26].

ESP32S-CAM можна програмувати за допомогою мови програмування Python. ESP32 має вбудовану підтримку мови MicroPython, яка є портованою версією Python для вбудованих систем. Це дозволяє вам використовувати відомий синтаксис Python для програмування ESP32 і взаємодії з його функціоналом. Використання MicroPython дозволяє легко розробляти програми для зчитування автомобілів, аналізу відеопотоку та визначення безпечної відстані.

NoIR Raspi CAM v2 - це оновлена інфрачервона камера, спеціально призначена для використання з Raspberry Pi. Зовнішній вигляд камери зі шлейфом представлений на рисунку 1.7.

Камера оснащена 8-мегапіксельним сенсором Sony IMX219, що гарантує високу якість зображення. Має поліпшений фіксований фокус, що полегшує використання без необхідності налаштування фокусу. Здатна знімати статичні фото з роздільною здатністю 3280 x 2464 пікселів, що дозволяє отримувати

деталізовані зображення. Підтримує різні режими відеозапису 30fps, 60 fps і 90fps. Це дозволяє вибрати налаштування, що найбільше підходить для застосування в рамках даної підсистеми.



Рисунок 1.7 – Камера NoIR Raspi CAM v2 зі шлейфом [26]

Може бути призначена для зйомки в темряві або при поганому освітленні, завдяки інфрачервоному фільтру. Поставляється в комплекті зі шлейфом, що полегшує підключення до Raspberry Pi. Сумісна з усіма моделями Raspberry Pi, але для використання з Raspberry Pi Zero потрібен шлейф-перехідник.

На рахунок технічних характеристик, то розміри камери становлять 25 x 23 x 9 мм, з технологією OmniBSI для високої продуктивності. Отже для неї притаманні низький рівень перехресних перешкод, висока чутливість та низький рівень шуму.

Камера не має ІЧ-фільтра, який робить його чутливим до ІЧ-променів у нічний час. Але до неї можна отримати доступ через API MMAL і V4L, а також створено численні бібліотеки сторонніх розробників, зокрема бібліотеку Picamera Python. NoIR Raspi CAM v2 можна програмувати на Python. Raspberry Pi має вбудовану підтримку Python, і для керування камерою можна використовувати бібліотеку picamera, яка надає простий інтерфейс для роботи з камерою на Raspberry Pi. Вартість камери становить приблизно на ринку 1400 грн [28-30].

Ця камера може бути ідеальним вибором для підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями, особливо якщо вам потрібна висока якість зображення та можливість зйомки в темряві.

1.4 Рекомендований час реакції при різних умовах

Водії повинні суворо дотримуватися дистанції між автомобілями згідно з правилами дорожнього руху. Тим не менше, іноді водії рухаються дуже близько один до одного, обмежуючи можливість екстреного гальмування, об'їзду або виконання інших маневрів.

При русі за іншим автомобілем рекомендується утримувати таку дистанцію, яка дозволяє вчасно зупинитися, виконати маневр і уникнути зіткнення. Це особливо важливо в умовах мокрого асфальту, ґрунтових доріг або обмерзлої покрівлі.

Необхідно збільшити відстань, особливо коли транспорт рухається:

- 1) на мокрому асфальтобетонному покритті;
- 2) по вологому ґрунтовому маршруту;
- 3) по замерзлій чи засніженій дорозі.

На сухій дорозі мінімальна відстань між рухомими транспортними засобами має становити таку величину, щоб час реакції водія становив 2 секунди. У випадку неякісного покриття, вологості або наявності глини на трасі час збільшується до 3-4 секунд.

При випаді різних опадів, таких як мокрий сніг, дощ або ожеледь, найбільш безпечним буде час реакції 5-6 секунд. Водіям без значного досвіду рекомендується тримати мінімальну відстань не менше 7-8 секунд [31-32].

При снігопаді досвідчені водії можуть дотримуватися відстані, щоб час реакції був не менше 4 секунд, тоді як новачкам рекомендується тримати 5 секунд.

В середньому, рекомендована безпечна відстань між автомобілями у міських умовах становить 3 метри, що приблизно дорівнює 2/3 довжини кузова машини [33].

Також бажано на трасі дотримуватися наступних порад на рахунок часу реакції в залежності від стану доріг [34]:

- 1) 2 секунди на асфальтових дорогах без перешкод;
- 2) 3 секунди при наявності невеликих перешкод;
- 3) 3 секунди на якісних дорогах у темряві;
- 4) 4 секунди у світлу пору року, коли дорога покрита інієм або снігом;
- 5) 5 секунд у темний час доби на засніжених дорогах;
- 6) 6 секунд при ожеледиці, мокрому снігу та тонкій плівці води на дорозі.

Якщо водій потрапив в пробку то нормальна відстань має становити половині довжини авто. Це зменшує ризик аварій при раптових зупинках. На складних ділянках або в погіршених умовах, дистанція повинна бути менше гальмівного шляху за видимістю.

Щоб уникнути аварій, водії повинні дотримуватися безпечної відстані також на світлофорі. Тому відстань має становити не менше 2-3 метри, щоб уникнути зіткнення [34-36].

На стоянці слід також пам'ятати про безпечну дистанцію. Відстань повинна дозволяти вільний вихід з авто, без перешкод для інших, а також слід уникати блокування транспортних засобів.

1.5 Проблеми обчислення безпечної відстані між транспортними засобами

Розробка підсистеми визначення безпечної відстані є нелегким завданням. Потрібно створити надійне та точне програмне забезпечення, яке буде здатне розпізнавати, вимірювати та враховувати безпечну відстань між рухомими транспортними засобами.

В процесі аналізу було визначено наступні проблеми, які можуть вплинути на точність обчислення відстані між автомобілями:

1. Точність даних зі камери: залежно від типу камер точність отриманих даних може варіюватися. Відповідно, низька точність може призвести до похибок при визначенні відстані між автомобілями [37-39].

2. Обробка зображень: обробка великої кількості зображень в реальному часі може бути високо затратною та вимагати потужних обчислювальних ресурсів [40-42]. Це може вплинути на ефективність системи та може бути важким завданням для вбудованих систем.

3. Умови дорожнього покриття: різні умови дорожнього покриття, такі як дощ, сніг, туман або спалах світла, можуть ускладнити або навіть зробити неможливим визначення точної відстані між автомобілями [43-44].

4. Динаміка транспортних засобів: різна швидкість руху, різке гальмування, зміни смуги руху можуть створювати складнощі в точному визначенні відстані та передбаченні руху транспортних засобів [45].

5. Безпека та конфіденційність: збір та обробка великої кількості даних, пов'язаних із рухом транспортних засобів, потребує високого рівня безпеки та захисту конфіденційності [46-48]. Забезпечення цих аспектів може бути непростим завданням.

6. Стандарти та регулювання: введення системи в роботу може вимагати відповідності різним стандартам та нормативам безпеки дорожнього руху. Невідповідність може ускладнити впровадження системи [49].

7. Взаємодія з іншими системами: якщо система вбудована в транспортні системи, важливо враховувати взаємодію з іншими автоматизованими транспортними засобами та іншими розумними інфраструктурними рішеннями [50-52].

При розробці системи важливо враховувати всі ці аспекти та забезпечити адекватні рішення для кожного з них, щоб забезпечити найвищий рівень безпеки та ефективності.

1.6 Висновки

У першому розділі розглянуто різні можливі підходи до вирішення проблеми впровадження підсистеми визначення безпечної відстані під час керування автомобілем з використанням комп'ютерного зору в рамках системи попередження ДТП.

Під час аналізу статей були виявлені переваги та недоліки запропонованих методів рішення даної задачі. Крім того, проведено огляд існуючих систем для автомобілів на ринку з виявленням їх переваг та недоліків. Важливо відзначити, що різні автомобільні компанії використовують різні технології, але всі вони вбудовані безпосередньо у автомобілі відповідної марки. Системи не можуть бути встановлені на автомобілі що не відповідають марці розробника і встановлюються безпосередньо на виробництві транспортних засобів.

Невід'ємною частиною реалізації архітектури підсистеми є вибір відповідної веб-камери. Під час аналізу було обрано найкращий варіант – NoIR Raspi CAM v2, яка є сумісною з усіма моделями Raspberry Pi. У цьому проєкті було прийнято рішення використати Raspberry Pi 3 Model B+, яка за своєю потужністю зможе успішно впоратися із поставленою задачею.

Також було розглянуто рекомендований час реакції в різних умовах під час керування автомобілем, оскільки швидкість реакції залежить від відстані до попереднього транспортного засобу.

Не менш важливим етапом дослідження в першому розділі було вивчення різноманітних проблем, пов'язаних з обчисленням безпечної відстані між транспортними засобами, а також пошук шляхів їх вирішення.

2 ОБРАХУНОК ДИСТАНЦІЇ МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНИ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

2.1 Обрахунок відстані між автомобілями за допомогою однієї камери

Існує кілька способів визначення відстані між об'єктом та камерою. Це пов'язано зі зростанням доступу до необхідного обладнання.

Для визначення відстані до об'єкта потрібно знайти відомий об'єкт (еталон) на сцені і розрахувати його реальну відстань $distance_1$ від візуальної відстані h_0 та відомого розміру об'єкта h_1 . Дану задачу зображено на рисунку 2.1.

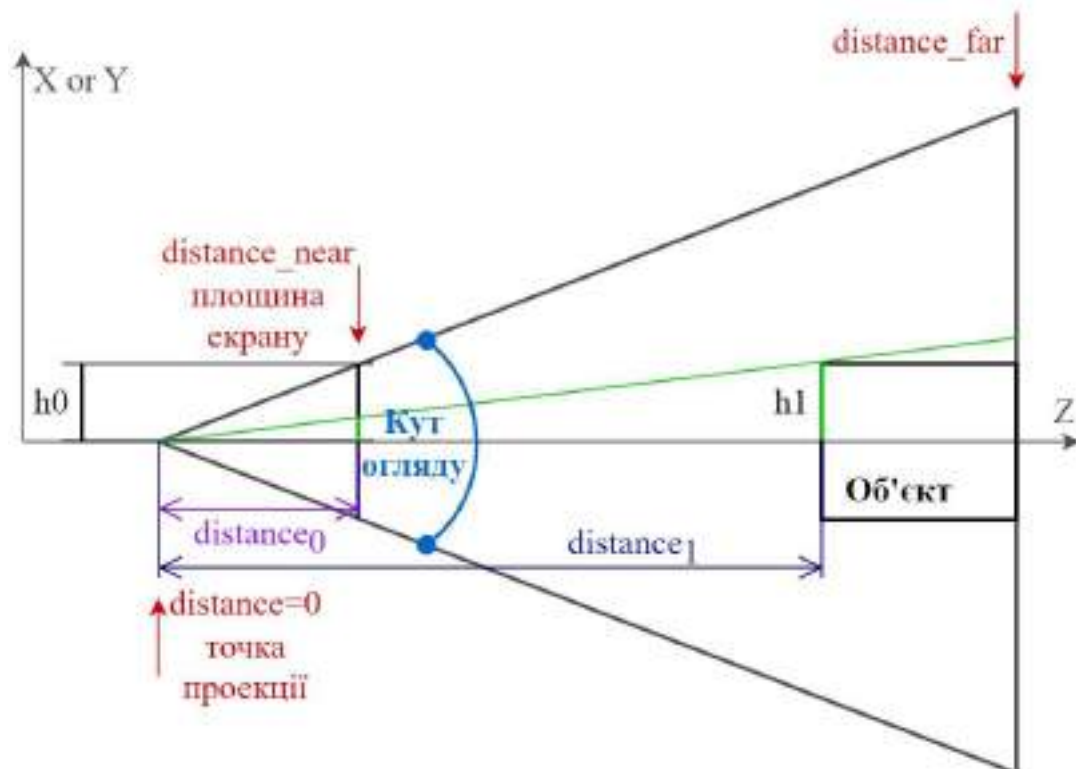


Рисунок 2.1 – Задача для визначення відстані до об'єкту

Для вирішення цього завдання потрібно звернутися до праць Фалеса. За переказами науковець вимірював висоту пірамід за їхніми тіннями в момент, коли його власна тінь дорівнювала його зросту. Також, казали, що він вимірював відстані до кораблів у морі [53-55]. Отже, для визначення відстані між камерою та

об'єктом слід скористатися методом подібності трикутників. Згідно співвідношення рисунка 2.1 і 2.2 відомо, що h_0 дорівнює radius_image , а h_1 дорівнює radius_object .

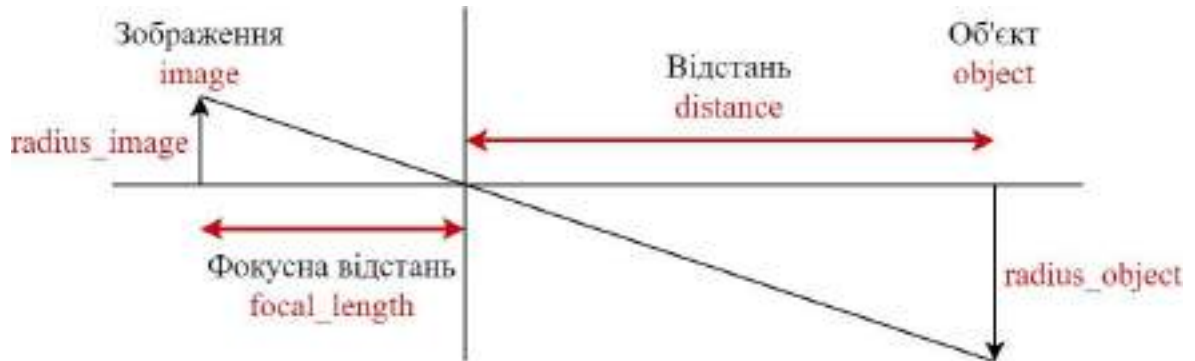


Рисунок 2.2 – Метод подібності трикутників для визначення відстані

Камера створює взаємозв'язок один-до-одного між об'єктом і зображенням. Це показано на рисунку 2.2 з зображенням методу подібності трикутників для визначення відстані. За допомогою наступних формул можна вивести зв'язок між відомими параметрами (формула 2.1) і знайти невідомий параметр (формула 2.2), у даному випадку відстань [56]:

$$\frac{\text{focal_length}}{\text{distance}} = \frac{\text{radius_image}}{\text{radius_object}}, \quad (2.1)$$

$$\text{distance} = \frac{\text{radius_object} \times \text{focal_length}}{\text{radius_image}}, \quad (2.2)$$

де focal_length – фокусна відстань;

radius_image – радіус об'єкта в площині зображення;

radius_object – радіус об'єкта в площині, де він знаходиться;

distance – невідомий параметр, відстань від камери до об'єкта.

Метод за допомогою монокулярної камери використовує теоретичне рівняння для розрахунку відстаней до транспортного засобу, що рухається попереду, та відстаней до смуги руху.

Умови проведення розрахунків є наступними:

- 1) камера встановлювалася посередині ширини транспортного засобу;
- 2) камера була спрямована вперед і орієнтована паралельно поверхні землі;
- 3) необхідна величина заднього звису головного автомобіля була відома заздалегідь;

4) капот тестового автомобіля, смуги руху, задні шини головного автомобіля та точка капот тестового автомобіля, смуги руху, задні шини головного автомобіля і точка зникнення були зафіксовані на зображенні, яке отримане камерою.

Як показано на рисунку 2.3, камера переднього огляду встановлюється близько до дзеркала заднього.

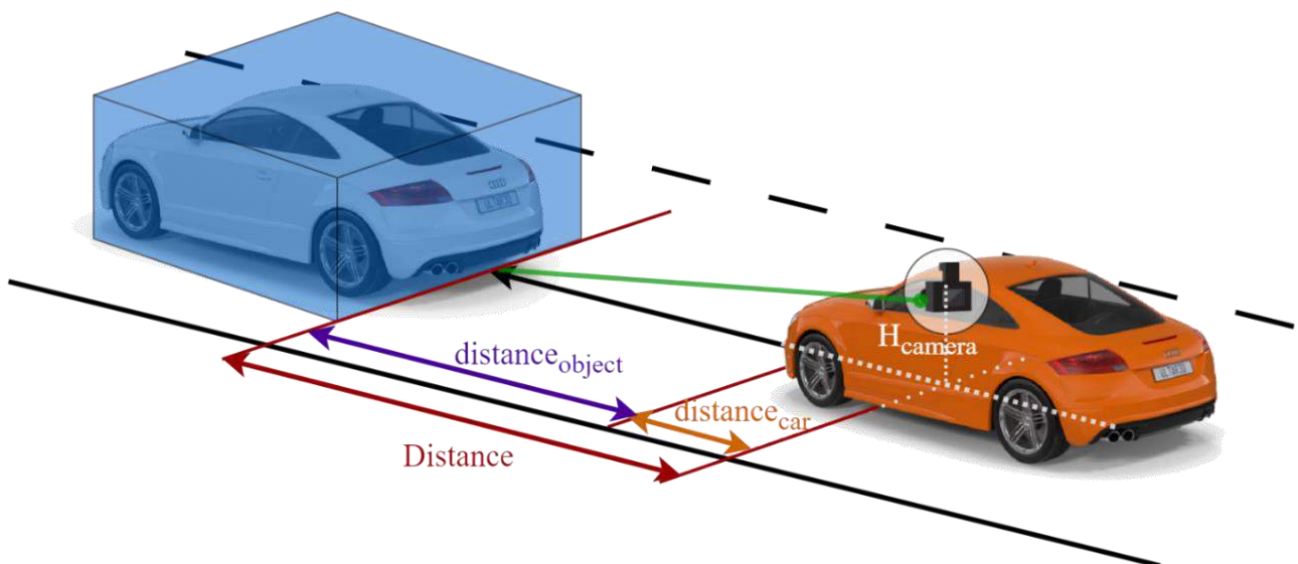


Рисунок 2.3 – Оцінка відстані між двома автомобілями

Відоме поле зору камери, яке визначається кутом β , висоту H_{camera} камери над рівнем дороги та кут нахилу камери γ_{camera} в координатах X_{camera} , Y_{camera} , Z_{camera} . Якщо припустити, що виявлений автомобіль знаходиться на дорозі в невідомому місці $(X_{car}, Y_{car}, Z_{car})$. Нехай δ – кут проекції променя (для камери), що вказує на точку перетину плоскості апроксимації виявленого транспортного засобу з плоскою поверхнею дороги (рисунок 2.4). Фактична відстань $distance_{object}$ між автомобілем і

попереднім транспортним засобом дорівнює $Distance$ відняти $distance_{car}$ і може бути обчислена за формулою (2.3), наступним чином [57]:

$$distance_{object} = \frac{H_{camera}}{\tan \delta - H_{camera} \times \tan \varphi}, \quad (2.3)$$

де H_{camera} – висота камери над рівнем дороги;

$\tan \delta$ – тангенс кута проєкції променя;

$\tan \varphi$ – тангенс кута φ , показаного на рисунку 2.4.

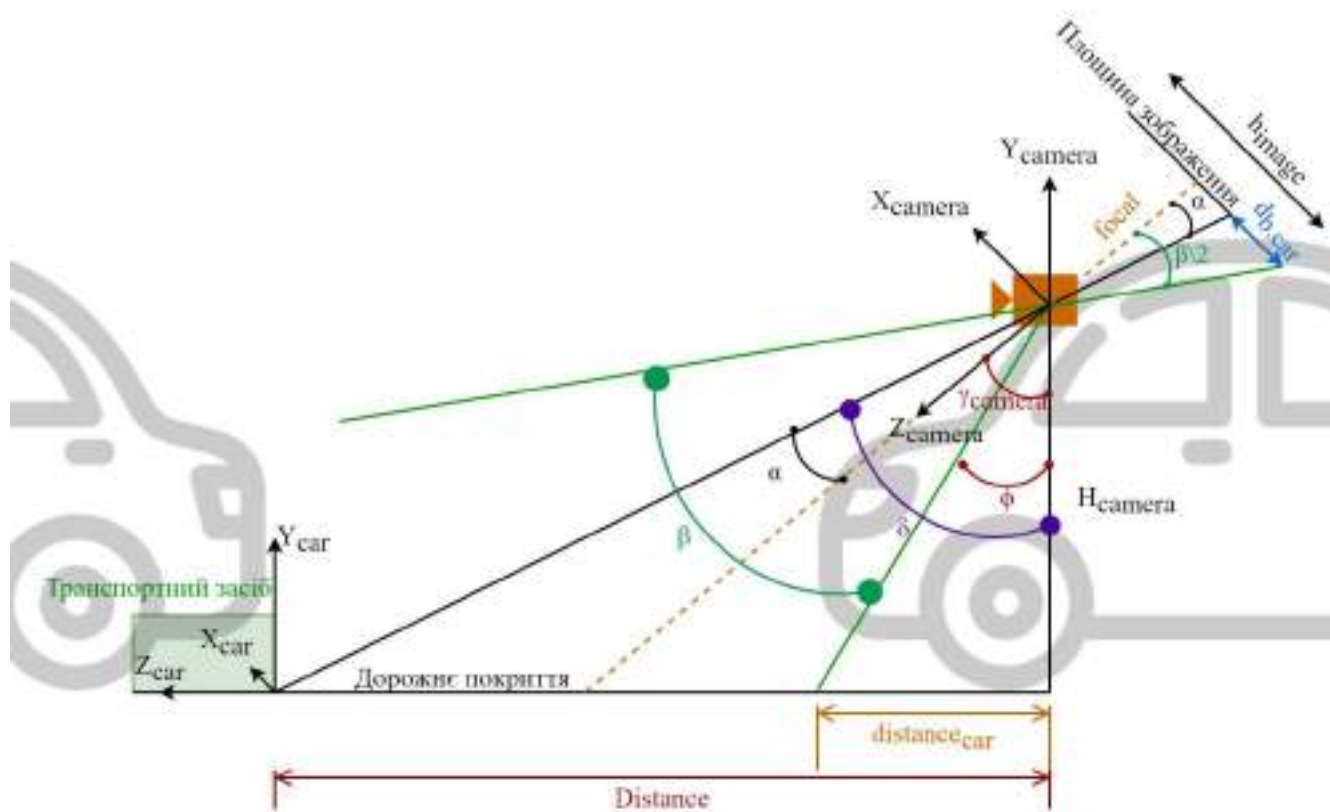


Рисунок 2.4 – Кутове співвідношення розміщення камери

Далі слід підставити замість кута δ – суму кутів γ_{camera} та α , та замість кута φ підставити різницю кутів γ_{camera} та $\beta/2$, як показано у формулі (2.4):

$$distance_{object} = \frac{H_{camera}}{\left(\tan\left(\frac{\gamma_{camera}}{2} + \alpha\right) - \tan\left(\gamma_{camera} \frac{\beta}{2}\right)\right)}. \quad (2.4)$$

Для обчислення відстані $distance_{object}$, коли відомо значення γ_{camera} та β , потрібно знати лише кут β . Значення даного кута можна дізнатися з формули (2.5):

$$\tan \alpha = \frac{\frac{h_{image}}{2} - d_{b.car}}{focal}, \quad (2.5)$$

де h_{image} – висота площини записаного зображення (в одиницях пікселів);

$d_{b.car}$ – відстань від нижньої сторони виявленого транспортного засобу до низу площини зображення (також в одиницях пікселів);

$focal$ – фокусна відстань камери.

Рівність (2.6) показує, що фокусна відстань становить [54]:

$$focal = \frac{h_{image}}{2 \tan \frac{\beta}{2}}. \quad (2.6)$$

З цього випливає що відстань можна знайти за допомогою рівняння (2.7), коли підставити в формулу (2.2) значення рівностей (2.5) та (2.6), що визначають f та кут α :

$$distance_{object} = \frac{H_{camera}}{\left(\tan\left(\frac{\gamma_{camera}}{2} + \arctan\left(\frac{h_{image} - 2d_{b.car}}{h_{image}(\csc \beta + \cot \beta)}\right) - \tan\left(\frac{\gamma_{camera} - \beta}{2}\right) \right) \right)}, \quad (2.7)$$

де H_{camera} – висота камери над рівнем дороги;

γ_{camera} – кут нахилу камери;

β – кут поля зору камери;

h_{image} – висота площини записаного зображення (в одиницях пікселів);

$d_{b.car}$ – відстань від нижньої сторони виявленого транспортного засобу до низу площини зображення (також в одиницях пікселів).

Далі було проведено додаткові розрахунки, за допомогою яких можна буде підтримувати наступну відстань між транспортними засобами, а також

здійснювати утримання смуги руху. На рисунку 2.5 показано зображення, отримане камерою, встановленою на транспортному засобі, на якому видно смуги руху, головний транспортний засіб, задні шини головного транспортного засобу та точку зникання.

На рисунку 2.5 показано, що $Lane_2$ – ширина смуги руху, визначена від низу задніх шин головного транспортного засобу, $Lane_{left}$ та $Lane_{right}$ – відстані від центральної вертикальної лінії зображення до лівої та правої смуг руху відповідно, $H_{ab.lane}$ – вертикальна відстань від точки сходу до низу задніх шин головного транспортного засобу, $H_{un.lane}$ – вертикальна відстань від низу задніх шин головного транспортного засобу до капоту транспортного засобу, оснащеного камерою.

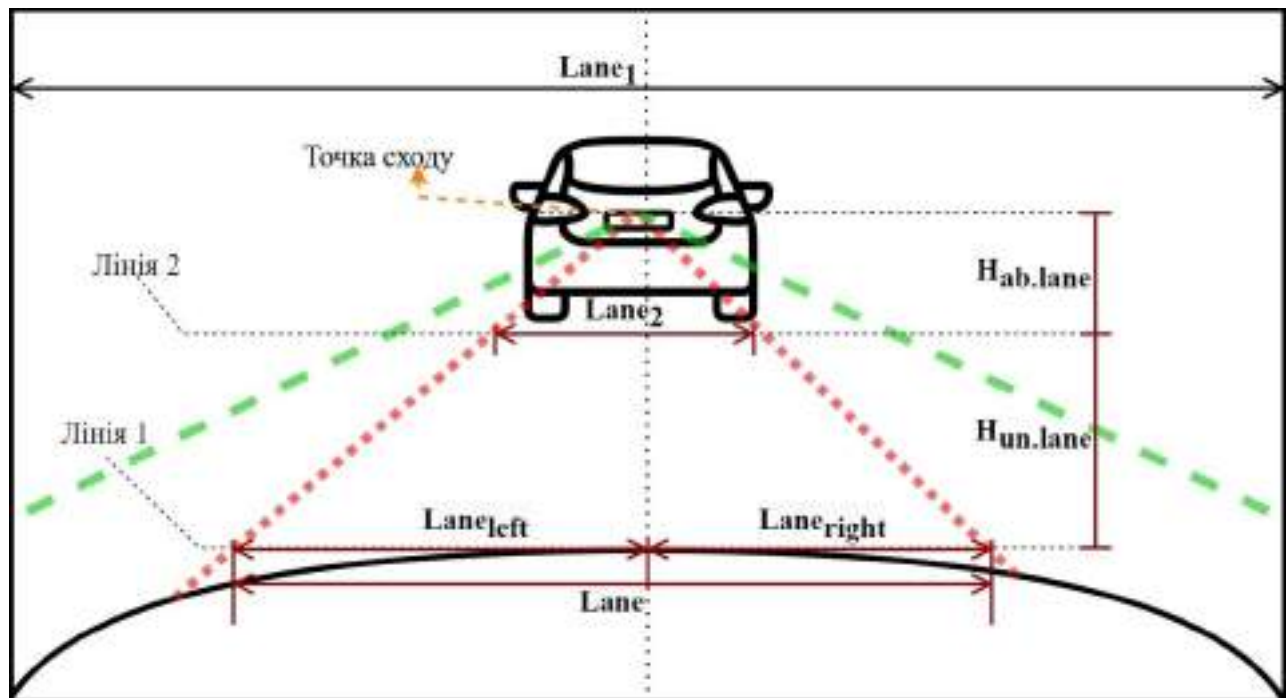


Рисунок 2.5 – Зображення з камери, встановленої на автомобілі

Геометричні змінні, пов'язані з двома транспортними засобами на смузі, представлені на рисунках 2.6, 2.7 та 2.8. На рисунку 2.6 показано геометрію автомобіля, обладнаного камерою та автомобіля, що рухається попереду автомобіля. На рисунку 2.7 та рисунку 2.8 – геометрію автомобіля, оснащеного камерою, смуги руху транспортного засобу та смуги руху відповідно до кута повороту θ .

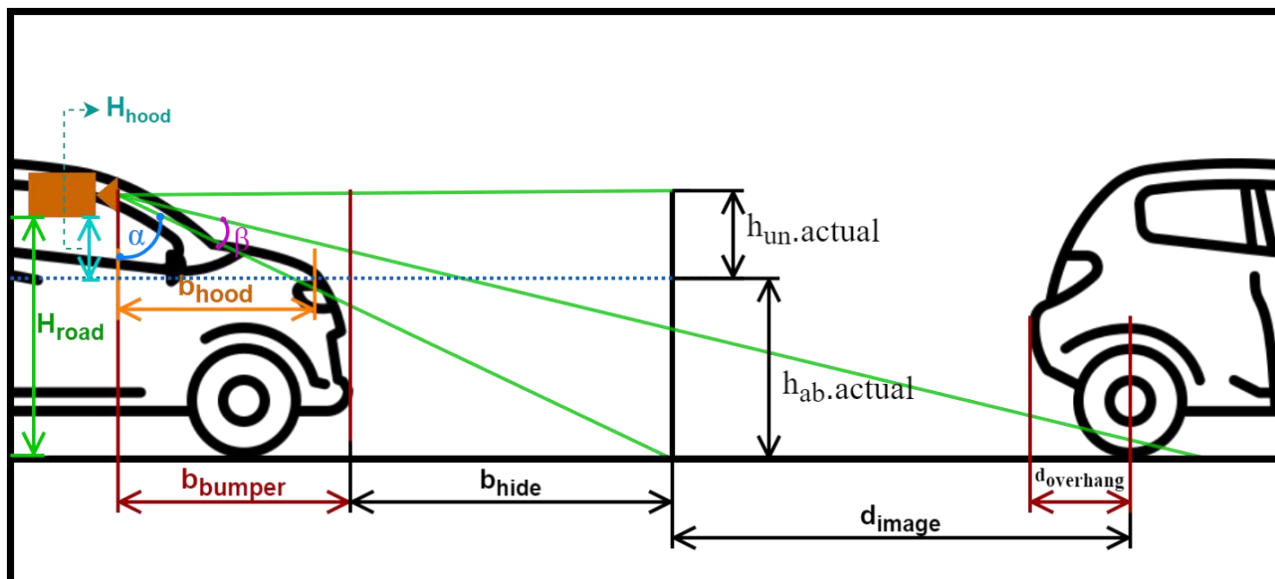


Рисунок 2.6 – Геометрія транспортного засобу,
камери та головного транспортного засобу

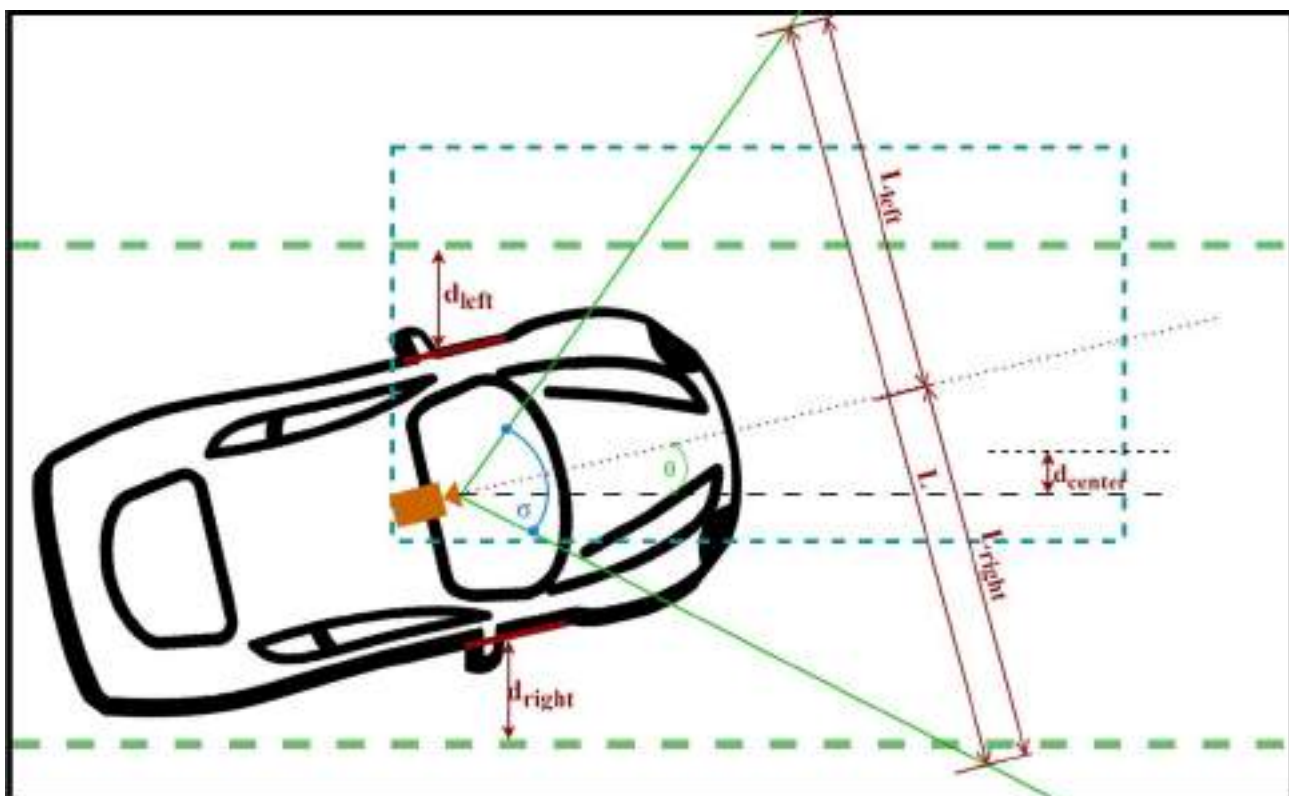


Рисунок 2.7 – Геометрія транспортного засобу на смузі відповідно
до кута повороту

Навіть якщо нахил тестового транспортного засобу відрізняється від нахилу головного транспортного засобу, результати теоретичної формули та реальних

випробувань, а також відстань між транспортними засобами, не змінювалися до максимального нахилу в 5%.

На рисунку 2.6 змінною H_{road} позначено висоту від землі до камери, H_{hood} – висоту від капота до камери, b_{hood} – відстань від камери до капота, b_{bumper} – відстань від камери до переднього бампера, b_{hide} – відстань від переднього бампера до місця прихованого від огляду капотом, α – кут до місця прихованого капотом (відносно перпендикуляра до землі), β – кут між лініями, що з'єднують камери до місця прихованого капотом і до нижньої частини задніх шин головного автомобіля.

Далі, $h_{un.actual}$ – це фактична висота $H_{un.lane}$, $h_{ab.actual}$ – фактична висота $H_{ab.lane}$, $d_{overhang}$ – задній звис головного транспортного засобу, а d_{image} – відстань між прямою, прихованою переднім бампером та задніми шинами головного автомобіля. автомобіля, що йде попереду.

На рисунку 2.7 та 2.8 відображено d_{left} і d_{right} – це відстані від лівої та правої шин автомобіля з камерою до смуги руху відповідно.

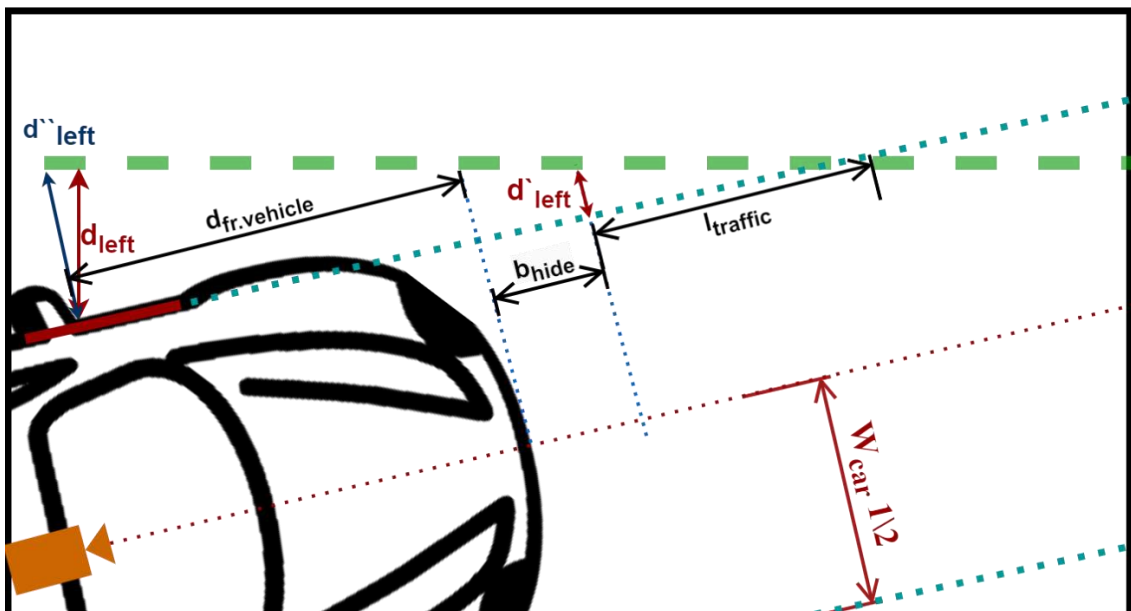


Рисунок 2.8 – Геометрія транспортного засобу на смузі відповідно до кута повороту

А на рисунку 2.8 показано $d_{fr.v}$ – відстань від передньої шини до переднього бампера транспортного засобу, $l_{traffic}$ – відстань від кінцевої точки відстані b_{hide} до

смуги руху, θ – кут повороту між транспортним засобом та смугою руху транспортним засобом та смугою руху, σ – кут огляду камери, L – бічна відстань поперек зображення спереду по відношенню до верхньої частини капота.

Рівняння (2.8) можна використовувати для розрахунку відстані до головного транспортного засобу, застосовуючи рівняння. Рівняння (2.9) та (2.10) можна використовувати для визначення відстаней від найближчих передніх шин до лівої та правої смуг руху відповідн [59]:

$$d_{front} = b_{hide} - d_{overhang} + (b_{hide} + b_{bumper}) \frac{(Lane - Lane_2)}{Lane_2}, \quad (2.8)$$

$$d_{left} = \left\{ 2(b_{hide} + b_{bumper}) \frac{Lane_{left}}{Lane_1} \tan \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} w_{car} \right\} \cos \theta (b_{hide} + d_{fr.v}) \sin \theta, \quad (2.9)$$

$$d_{right} = \left\{ 2(b_{hide} + b_{bumper}) \frac{Lane_{right}}{Lane_1} \tan \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} w_{car} \right\} \cos \theta (b_{hide} + d_{fr.v}) \sin \theta, \quad (2.10)$$

де d_{left} і d_{right} – це відстані від лівої та правої шин автомобіля з камерою до смуги руху відповідно;

b_{hide} – відстань від переднього бампера до місця прихованого від огляду капотом;

$d_{fr.v}$ – відстань від передньої шини до переднього бампера транспортного засобу;

b_{bumper} – відстань від камери до переднього бампера;

$Lane_2$ – ширина смуги руху, визначена від низу задніх шин головного транспортного засобу;

$Lane_1$ – ширина зображення;

$Lane$ – відстань від лівої до правої смуг руху.

$Lane_{left}$ та $Lane_{right}$ – відстані від центральної вертикальної лінії зображення до лівої та правої смуг руху відповідно;

θ – кут повороту між транспортним засобом та смугою руху транспортним засобом та смугою руху;

σ – кут огляду камери.

За допомогою поздовжнього керування на основі рівняння (2.8) можна підтримувати наступну відстань між транспортними засобами, а також утримання смуги руху може бути досягнуто за допомогою поперечного керування на основі рівнянь (2.9) та (2.10).

2.2 Вимірювання відстані до об'єкта перед автомобілем за допомогою двох камер

Стереобачення – це відома технологія, яка спрямована на вилучення інформації про глибину сцени з двох камер, горизонтально вирівняних і вертикально зміщених одна до одної, щоб отримати два різних погляди на одну і ту ж сцену одночасно, подібно до наших власних очей [53-55]. Основна ідея полягає в тому, щоб записати сцену з двох різних точок зору і використати розбіжність для позначення положення, взаємозв'язку і структури об'єктів у сцені. Різниця між положеннями пікселів на двох зображеннях створює враження глибини. Відстань до об'єкта вимірюється, коли він знаходиться у в полі зору двох камер, що перекриваються.

Як показано на рисунку 2.9, дві камери встановлені горизонтально і розділені відстанню $Lane$, де $distance$ – бажана відстань між об'єктом та камерами. Щоб виміряти відстань h , нам потрібні такі параметри $Lane_{left}$, $Lane_{right}$, α , γ , β .

Залежно від тригонометричних функцій можна отримати наступні рівності представлені формулами (2.11)-(2.13) [60]:

$$\sin \beta = \frac{distance}{Lane_{left}} \quad (2.11)$$

$$\sin \gamma = \frac{distance}{Lane_{right}} \quad (2.12)$$

$$distance = Lane_{left} \times \sin \beta = Lane_{right} \times \sin \gamma \quad (2.13)$$

де $Lane_{left}$ – відстань між об'єктом і лівою камерою;

$Lane_{right}$ – відстань між об'єктом і правою камерою;

α , γ , β – кути трикутника, утвореного об'єктом і двома камерами, як показано на рисунку 2.9.

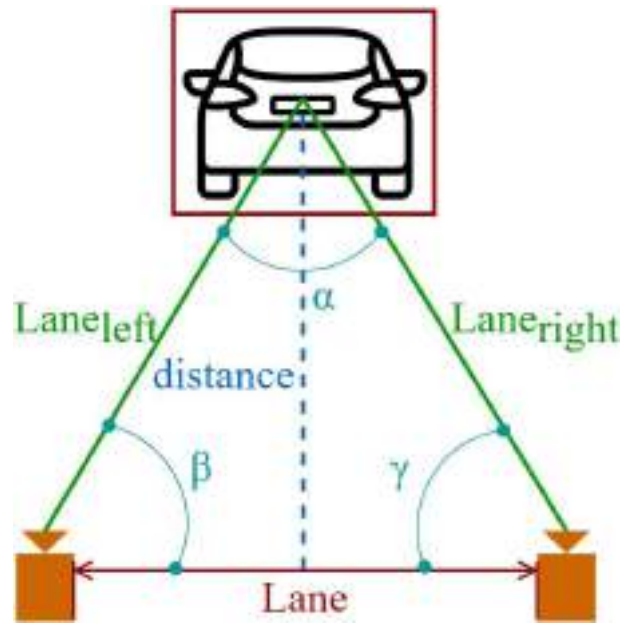


Рисунок 2.9 – Приклад двох камер, змонтованих як стереокамера

Відповідно до теореми синусів показаною у вигляді формули (19), можна отримати рівність (2.14) [61]:

$$Lane_{left} = \frac{Lane \times \sin \gamma}{\sin \alpha}. \quad (2.14)$$

Зрештою з рівності (2.14), можна отримати формулу (2.15):

$$distance = \frac{Lane \times \sin \gamma \times \sin \beta}{\sin \alpha}. \quad (2.15)$$

В евклідовій геометрії сума кутів трикутника незмінно дорівнює прямому куту, тому з цього виходить, що сума кутів трикутника, утвореного об'єктом і двома камерами становить 180 градусів.

Згідно з рівнянням (2.15), отримуємо кути γ і β , а також можна зробити висновок про кут α . Дані кути зображені на рисунку 2.10, які стануть в нагоді для пошуку відстані до автомобіля попереду. Отже згідно рисунку можна зробити висновки, що кут β буде рівний сумі кутів σ_{left} та θ_{left} , а кут γ буде рівний відповідно сумі кутам σ_{right} та θ_{right} .

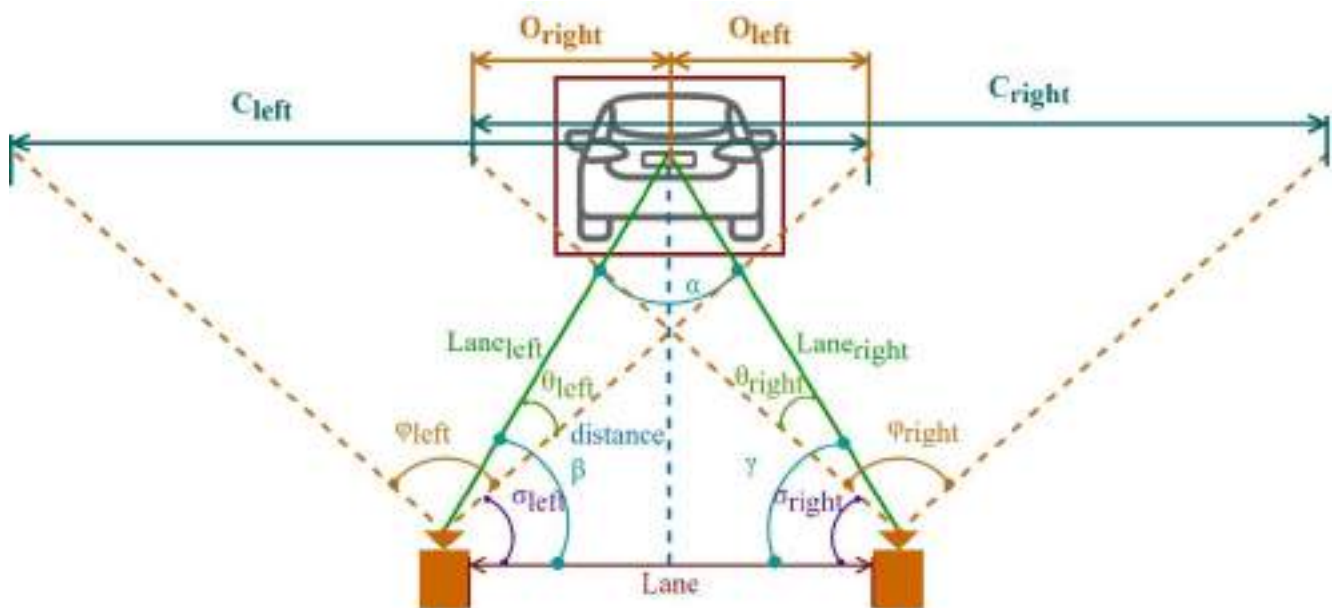


Рисунок 2.10 – Ілюстрація кутів, що використовуються для обчислення відстані

Згідно до рисунку 2.11, кут σ , буде рівний різниці між 180 градусами та кутом φ , поділена навпіл. Відповідно до того σ_{left} і σ_{right} буде рівній різниці між 180 градусами та кутами φ_{left} або φ_{right} відповідно, поділена навпіл.

Тепер σ_{left} і σ_{right} відомі, але ще потрібно знайти кути θ_{left} і θ_{right} . Ці два кути можна отримати, помноживши положення об'єкта на обох камерах (O_{left} і O_{right}) на кути, які відповідають кожному пікселю в обох камерах (ψ_{left} і ψ_{right}), що показано в формулах (2.16) та (2.17):

$$\theta_{left} = O_{left} \times \psi_{left}, \quad (2.16)$$

$$\theta_{right} = O_{right} \times \psi_{right}. \quad (2.17)$$

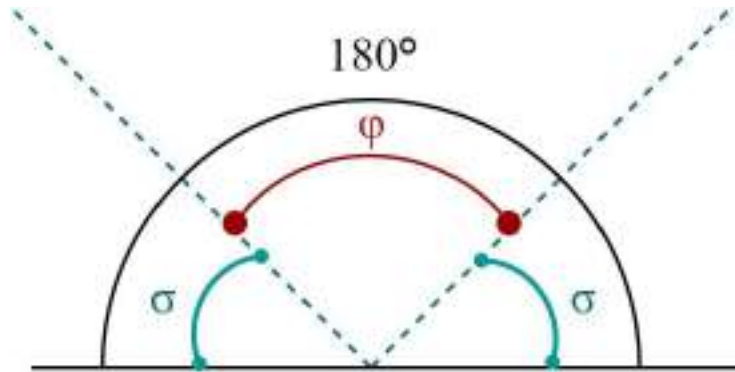


Рисунок 2.11 – Кути камери

Далі слід обчислити кути ψ_{left} і ψ_{right} . Кут φ_{left} відповідає C_{left} пікселів для першої камери, а кут φ_{right} відповідає C_{right} пікселів для другої камери. Отже, ψ_{left} і ψ_{right} визначаються за формулами (2.18) та (2.19) відповідно:

$$\psi_{left} = \frac{\varphi_{left}}{C_{left}}, \quad (2.18)$$

$$\psi_{right} = \frac{\varphi_{right}}{C_{right}}, \quad (2.19)$$

де φ_{left} , φ_{right} – кути огляду двох камер відповідно;

C_{left} , C_{right} – кількість горизонтальних пікселів двох камер відповідно.

Отже, згідно з рівняннями (2.16), (2.19), (2.18) та (2.19) можна отримати рівності (2.20) та (2.21), з яких можна отримати значення кутів γ та β :

$$\beta = \frac{O_{left} \times \varphi_{left}}{C_{left}} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2}, \quad (2.20)$$

$$\gamma = \frac{O_{right} \times \varphi_{right}}{C_{right}} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2}. \quad (2.21)$$

Зрештою відстань h , що є значенням відстані до об'єкта перед автомобілем, можна визначити згідно з наступної формули:

$$distance = \frac{Lane \times \sin\left(\frac{O_{right} \times \varphi_{right}}{C_{right}} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2}\right) \times \sin\left(\frac{O_{left} \times \varphi_{left}}{C_{left}} + \frac{180^\circ - \varphi_{left}}{2}\right)}{\sin\left(180^\circ - \left(\frac{O_{right} \times \varphi_{right}}{C_{right}} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2} + \frac{O_{left} \times \varphi_{left}}{C_{left}} + \frac{180^\circ - \varphi_{left}}{2}\right)\right)}, \quad (2.22)$$

де $Lane$ – відстань між двома камерами;

φ_{left} , φ_{right} – кути огляду двох камер відповідно;

C_{left} , C_{right} – кількість горизонтальних пікселів двох камер відповідно;

O_{left} – відстань у пікселях між центром об'єкта та кінцем об'єкта до кінця області перекриття для камери зліва;

O_{right} – відстань у пікселях між центром об'єкта та початком області перекриття для правої камери.

Відстань до об'єкта можна обчислити за формулою (2.35), враховуючи кути огляду обох камер, відстань між камерами та положення об'єкта в обох камерах, які є єдиними членами формули розрахунку відстані (рівняння (2.35)), які потрібно обчислювати, оскільки всі інші члени вже відомі.

2.3 Метод ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми

Під час розробки підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями було прийнято рішення використати для ідентифікації транспортних засобів метод заснований на Гаар-подібних ознаках та алгоритмі AdaBoost (Adaptive Boosting).

Для витягування розширених Гаар-подібних ознак планується використати метод інтегрального зображення. Вдосконалений алгоритм класифікатора

AdaBoost допоможе для відбору обмеженої кількості критичних ознак із великого набору Гаар-подібних ознак під час навчання.

AdaBoost є потужним алгоритмом, який навчає сильний класифікатор шляхом використання послідовності слабких класифікаторів [62-64]. На кожному циклі навчання AdaBoost виділяє ефективну ознаку, що допомагає підвищити точність класифікації. Кожна така ознака породжує відповідний слабкий класифікатор, а згодом багато слабких класифікаторів об'єднуються в сильний класифікатор [65].

Перший крок у навчанні класифікатора на основі алгоритму AdaBoost – це побудова вибірки даних. На цьому кроці формується набір пар даних, де кожен зразок зображення (або іншого об'єкту) має свої відповідні ознаки (вектор ознак) та мітку класу.

Наприклад, якщо розглядається задача розпізнавання автомобілів на зображеннях, збираються зображення, які містять автомобілі (позитивні зразки), а також зображення, на яких немає автомобілів (негативні зразки). Кожне зображення потребує попередньої обробки, наприклад, може бути зменшене до стандартного розміру або конвертоване у вектор ознак.

Після того, як дані оброблені, буде отримано набір пар $\{(A_1, B_1), (A_2, B_2), \dots, (A_n, B_n)\}$, де A_i представляє вектор ознак для кожного зображення, а B_i – мітку класу, що вказує, чи належить зображення до позитивного чи негативного класу. Наприклад, якщо автомобіль присутній на зображенні, йому може бути призначено мітку 1, в іншому випадку - мітку 0.

Другий етап у навчанні класифікатора за допомогою алгоритму AdaBoost – це генерація слабкого класифікатора. На цьому етапі використовується Гаара-подібні ознаки для створення слабкого класифікатора, який допоможе у розпізнаванні об'єктів на зображеннях.

Гаара-подібні ознаки – це шаблони, що використовуються для виявлення різних структур або особливостей на зображенні [66-67]. Наприклад, однією з таких ознак може бути вертикальна чорна смуга поруч з білою смугою або горизонтальна смуга із середньою яскравістю поруч зі світлою тощо. Кожна з цих

ознак може бути використана для створення слабкого класифікатора. Формула слабкого класифікатора виглядає наступним чином [68]:

$$h_{cl_i}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } par_i \times f_i(x) < par_i \times neg_{s_i} \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad (2.23)$$

де $h_{cl_i}(x)$ – це вихідна мітка класу, яку повертає слабкий класифікатор для вхідного зображення x ;

$f_i(x)$ – власне значення номера i ознаки для зображення x ;

neg_{s_i} – поріг, який використовується для розділення позитивних та негативних зразків;

par_i – коефіцієнт перевірки парності, який визначає, яка сторона порогу має вищий пріоритет для позитивного класу.

Алгоритм Adaboost використовується для автоматичного вибору оптимального порогу neg_{s_i} для розділення позитивних та негативних зразків для кожної ознаки [69-71].

Третій етап у навчанні класифікатора за допомогою алгоритму Adaboost – це ініціалізація ваг. На цьому етапі кожному зразку даних призначається початковий ваговий коефіцієнт, який використовується для налаштування ваги при навчанні кожного слабкого класифікатора.

Коли y_m приймає значення 1 як позитивний зразок, ваговий коефіцієнт можна представити наступним чином [67]:

$$weight_{t,i} = \frac{1}{2num_{pos}}, \quad (2.24)$$

де num_{pos} – кількість позитивних зразків у вибірці;

t – лічильник для відстеження ітерацій (дорівнює 1, 2, ..., T).

Аналогічно, коли y_m приймає значення 0 як негативний зразок, ваговий коефіцієнт дорівнюватиме [68]:

$$weight_{t,i} = \frac{1}{2num_neg}, \quad (2.25)$$

де num_neg – кількість негативних зразків у вибірці.

На кожній ітерації алгоритму вагові коефіцієнти нормалізуються (показано у формулі 2.26), щоб забезпечити їх суму рівною 1 [68]:

$$weight_{t,i} = \frac{weight_{t,i}}{\sum_{i=1}^n weight_{t,i}}, \quad (2.26)$$

де n – загальна кількість зразків на t -ій ітерації.

Це забезпечує вагове групування при обчисленні сильного класифікатора на наступному етапі.

На четвертому етапі навчання класифікатора за допомогою алгоритму AdaBoost обчислюється генеруючий слабкий класифікатор h_j для кожної ознаки j , а також його похибка відносно поточної ваги.

Слабкий класифікатор використовується для класифікації даних на основі цієї ознаки. Він побудований на основі Гаара-подібних ознак, який може розділяти дані на два класи [69-70].

Далі обчислюється похибка слабого класифікатора h_j відносно поточної ваги. Це робиться шляхом порівняння вихідної мітки класу, яку повертає слабкий класифікатор, зі справжньою міткою класу в навчальних даних. Якщо класифікатор правильно класифікує зразок, його вага залишається без змін. Але якщо він помиляється, вага цього зразка збільшується, щоб врахувати його важливість у наступних ітераціях алгоритму. Потім похибка ε_i обчислюється як ваговий середній абсолютний відсоток помилок слабого класифікатора [72]:

$$\varepsilon_i = \sum_{m=1}^n weight_m |h_{cl_i}(x_m) - y_m|, \quad (2.27)$$

де N – загальна кількість зразків в навчальних даних;

$weight_m$ – вага m -го зразка;

$h_{cl_i}(x_m)$ – вихідний класифікатора h_{cl_i} для m -го зразка;

y_m – справжня мітка класу для m -го зразка.

Ця похибка використовується для визначення ваги, яка буде надана слабкому класифікатору h_{cl_i} при побудові сильного класифікатора на наступному етапі. Чим менше похибка, тим більше вага надається класифікатору.

На п'ятому етапі навчання класифікатора за допомогою алгоритму AdaBoost проводиться оновлення ваги одного зразка. Це важливий крок, який дозволяє адаптувати ваги зразків таким чином, щоб наступні слабкі класифікатори фокусувалися на зразках, які були класифіковані невірно на попередніх етапах.

Після того, як обчислено похибку e_i для кожного слабкого класифікатора h_{cl_i} , ваги кожного зразка $weight_m$ оновлюються згідно з ваговим оновленням, що враховує похибку класифікації ітерації [73]:

$$weight_{t+1,m} = weight_{t,m} \alpha^{1-e_i}, \quad (2.28)$$

де $weight_m$ – ваговий коефіцієнт для зразка m на t -ій ітерації;

α – швидкість навчання, параметр, який контролює, наскільки швидко модель враховує нові дані;

e_i – похибка класифікації для зразка i на t -ій ітерації.

Оновлення ваги виразно відображає важливість кожного зразка в процесі навчання. Якщо зразок був класифікований неправильно на попередній ітерації, його вага збільшується, щоб зробити його більш важливим наступного разу. Якщо ж зразок був класифікований правильно, його вага може залишитися без змін або навіть зменшитися.

Таким чином, після кожної ітерації алгоритму AdaBoost кожний зразок в навчальній вибірці має свою власну вагу, яка враховує його важливість для правильної класифікації. Це дозволяє алгоритму зосередитися на навчанні слабких класифікаторів на тих зразках, які були класифіковані невірно на попередніх етапах, з метою покращення точності класифікації в майбутньому.

Після оновлення ваг кожного зразка сильний класифікатор, побудований на основі слабких класифікаторів, буде готовий для використання [73]:

$$h_{cl(x)} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{t=1}^T \log\left(\frac{1}{\alpha_t}\right) h_{cl_t} = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \log\left(\frac{1}{\alpha_t}\right), \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.29)$$

де T – загальна кількість ітерацій;

α_t – ваговий коефіцієнт для t -ої ітерації;

h_{cl_t} – вихідний класифікатора h_{cl_i} для m -го зразка.

2.4 Висновки

У цьому розділі розглянуто методи визначення відстані з використанням даних від однієї або двох камер, а також розглянуто можливості машинного навчання для ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми.

Для визначення відстані за допомогою даних однієї камери було розроблено формулу, засновану на параметрах висоти камери над рівнем дороги, кута нахилу камери, поля зору камери, висоти площини записаного зображення та відстані від нижньої межі транспортного засобу до низу площини зображення. Однак, це може бути складним у розрахунках через залежність від кута нахилу та поля зору камери. Хоча цей метод дозволяє отримати відстань до об'єкта, його точність може варіюватися в залежності від початкових параметрів.

Метод визначення відстані з використанням двох камер розроблено на основі відстані між камерами, кутів огляду, кількості горизонтальних пікселів у камерах, а також відстані в пікселях між центром об'єкта та краями перекриття в кожній камері. Використання двох камер підвищує точність вимірювання відстані завдяки можливості порівнювати зображення з різних точок огляду. Цей підхід може вимагати складного налаштування та синхронізації камер, проте забезпечує вищу точність.

Для ідентифікації транспортних засобів були досліджені методи машинного навчання. Головними аспектами є використання Гаар-подібних ознак та алгоритму AdaBoost, який об'єднує послідовність слабких класифікаторів у сильний для покращення точності класифікації. Процес навчання включає обробку та підготовку даних, створення вибірки, генерацію слабого класифікатора, ініціалізацію ваг, обчислення помилок та оновлення ваг. Це забезпечує адаптивне навчання класифікатора та покращує розпізнавання транспортних засобів на зображеннях.

3 ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

3.1 Принципи побудови симуляції дорожнього трафіку

Для того щоб створити власну підсистему для відстеження безпечної відстані між автомобілями потрібно провести ряд моделювань. Одне з яких є симуляція дорожнього трафіку. В ході експерименту потрібно пересвідчитися у аспектах, які можуть призвести до дорожньо-транспортної аварії та дослідити безпечну відстань при різних випадках.

Проведення моделювання трафіку є набагато простішим, дешевшим і швидшим методом, ніж проведення тестування в реальності. Це допоможе прискорити збір даних необхідних для підсистеми.

Для аналізу системи дорожнього руху слід спочатку математично змоделювати транспортну систему. Така модель повинна реалістично відображати транспортний потік на основі вхідних параметрів (геометрія дорожньої мережі, кількість транспортних засобів за хвилину, швидкість транспортних засобів).

Моделі транспортних систем можна поділити на три основні категорії в залежності від рівня, на якому вони працюють [74-76]:

1. Макрорівень (рівень системи): моделі на макрорівні розглядають систему транспорту в цілому, а не окремі її складові частини. Вони вивчають великі території, регіони або країни, враховуючи загальні тенденції розвитку транспортних потреб, обсяги перевезень, ефективність і розподіл транспортних ресурсів [75].

2. Мезорівень (рівень мережі): моделі на мезорівні фокусуються на конкретних транспортних мережах або системах, таких як міста, області або транспортні коридори. Вони враховують взаємодію різних видів транспорту і розвиток інфраструктури на регіональному рівні [74].

3. Мікрорівень (рівень поїздки або користувача): моделі на мікрорівні аналізують імовірні рухи і вибори окремих користувачів або транспортних засобів

на рівні конкретних поїздок. Вони вивчають поведінку окремих учасників руху, розглядаючи такі аспекти, як маршрутизація, вибір транспортних засобів, час поїздки та інші персональні аспекти [76].

Ця тривалість дозволяє аналізувати транспортні системи на різних рівнях деталізації і враховувати як загальні тенденції, так і конкретні потреби та переваги користувачів. Згідно з особливостей кожної моделі для даного дослідження було обрано мікроскопічну модель.

Модель водія на мікрорівні описує поведінку окремого водія або транспортного засобу. В результаті це представляє собою мультиагентну систему, де кожен транспортний засіб діє незалежно, використовуючи вхідні дані з оточуючого середовища [77].

Моделі водіїв мікрорівня описують поведінку окремих транспортних засобів. Це призводить до створення багатоагентної системи, де кожен транспортний засіб працює незалежно на основі вхідних даних із середовища [77-79].

У мікроскопічній моделі кожен транспортний засіб має індекс i . i -й транспортний засіб слідує за $(i-1)$ -м транспортним засобом. Для автомобіля з індексом i нехай x_i означає його положення на дорозі, v_i його швидкість, а l_i його довжину. Це стосується всіх транспортних засобів у системі. Принцип роботи мікроскопічної моделі зображено на рисунку 3.1.

Значення s_i являє собою відстань між переднім і заднім бамперами (описано у формулі 3.1). Δv_i являє собою різницю швидкостей між i -м автомобілем і автомобілем попереду (номер автомобіля $i-1$), що описано формулою 3.2 [80]:

$$s_i = x_i - x_{i-1} - l_i, \quad (3.1)$$

де s_i – відстань між переднім і заднім бамперами транспортного засобу;

x_i – позиція переднього бампера автомобіля;

x_{i-1} – позиція заднього бампера транспортного засобу;

l_i – довжина автомобіля.

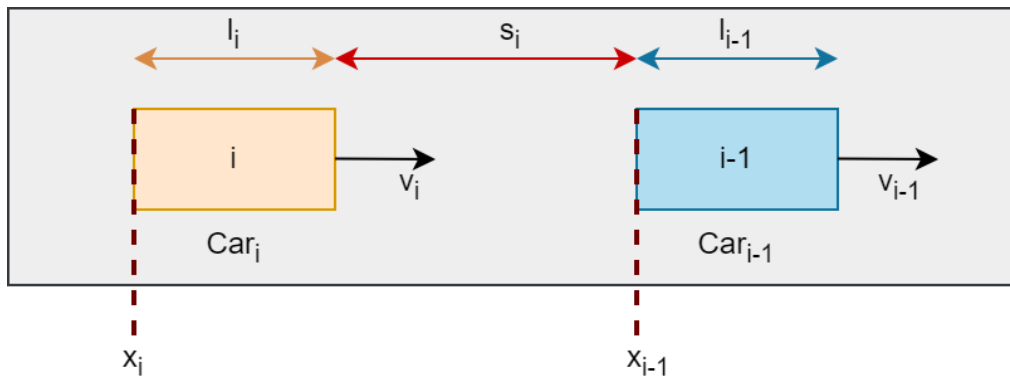


Рисунок 3.1 – Робота мікроскопічної моделі

$$\Delta v_i = v_i - v_{i-1}, \quad (3.2)$$

де Δv_i – різниця у швидкості між транспортним засобом i та тим, що знаходиться перед ним ($i-1$);

v_i – швидкість транспортного засобу i ;

v_{i-1} – швидкість транспортного засобу $i-1$.

У 2000 році Трайбером, Хеннеке і Хелбингом було розроблено модель, яку вони назвали «Розумна модель транспортних засобів». Вона призначена для моделювання шосе і міського руху.

Ця модель описує прискорення i -го транспортного засобу на основі його власних розмірів і розмірів транспортного засобу попереду. Для побудови моделі нам знадобиться рівняння динаміки, що описано рівнянням 3.3 [81]:

$$\frac{dv_i}{dt} = a_i \left(1 - \left(\frac{v_i}{v_{0,i}} \right)^\delta - \left(\frac{s^*(v_i, \Delta v_i)}{s_i} \right)^2 \right), \quad (3.3)$$

де a_i – максимальне прискорення для транспортного засобу i ;

$v_{0,i}$ – максимальна бажана швидкість транспортного засобу i ;

v_i – швидкість i -ого автомобіля;

Δv_i – різниця швидкостей між i -м автомобілем і $i-1$;

s^* – фактична бажана відстань між транспортним засобом i та $i-1$;

s_i – являє собою відстань між переднім і заднім бамперами.

Фактичну бажану відстань між транспортним засобом i та $i-1$ можна представити у вигляді формули 3.4. Дана відстань складається з трьох частин, візуалізацію продемонстровано на рисунку 3.2 [81]:

$$s^*(v_i, \Delta v_i) = s_{0,1} + v_i T_i + \frac{v_i \Delta v_i}{\sqrt{2a_i b_i}} \quad (3.4)$$

де $s_{0,1}$ – мінімальна бажана відстань між транспортним засобом i та $i-1$;

T_i – час реакції водія i -го транспортного засобу;

a_i – максимальне прискорення для автомобіля;

b_i – уповільнення для транспортного засобу.

Добуток швидкості i -ого автомобіля та часу реакції водія i -го транспортного засобу позначає безпечну відстань за часом реакції. Це відстань, яку проїжджає транспортний засіб до того, як водій гальмує.

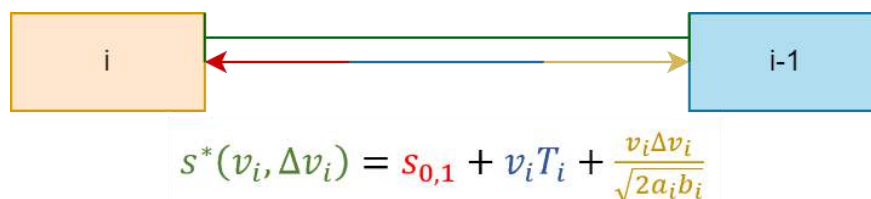


Рисунок 3.2 – Демонстрація трьох частин відстані між транспортними засобами

Оскільки швидкість визначається як відстань, пройдена за певний проміжок часу, можна сказати, що відстань є добутком швидкості та часу.

Частка, одного добутка швидкості i -ого автомобіля та різниці швидкостей між i -м автомобілем $i-1$ та іншого подвійного добутка максимального прискорення та комфортного уповільнення для транспортного засобу i піднесеного до квадратного кореня, являється безпечним інтервалом. Обчислюється на основі різниці у швидкостях. Це відстань, яку транспортний засіб повинен проїхати, щоб уповільнити швидкість без раптового гальмування. Це означає, що має автомобіль

має уникнути зіткнення з транспортним засобом, що їде попереду та зі зниженням швидкості менше, ніж b_i .

Вважається, що транспортний засіб рухається прямолінійно і підкоряється формулі 3.5 [82]:

$$\frac{dv_i}{dt} = a_{free_road} + a_{interaction}, \quad (3.5)$$

де a_{free_road} – вільне дорожнє прискорення;

$a_{interaction}$ – прискорення взаємодії.

Прискорення на вільній дорозі - це прискорення на порожній дорозі, на якій попереду немає транспортних засобів. Графічне зображення прискорення як функція швидкості на координатній площині зображено на рисунку 3.3.

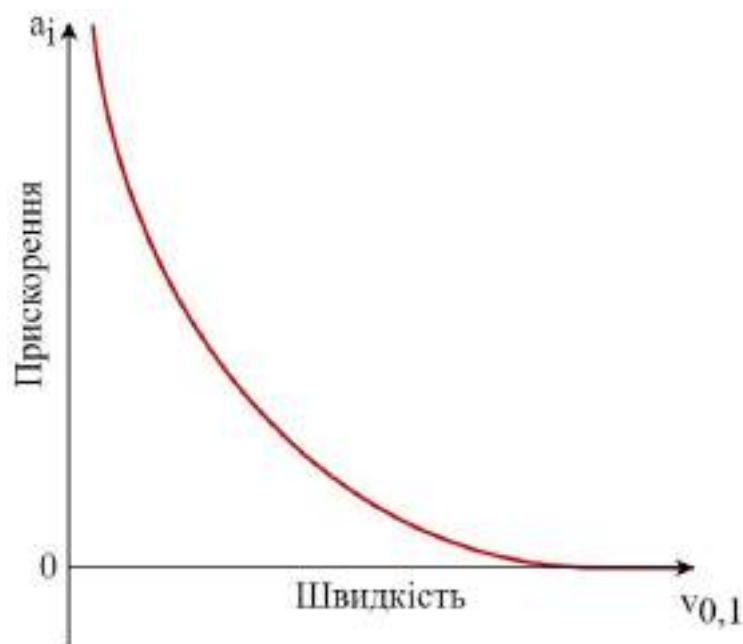


Рисунок 3.3 – Зображення прискорення як функція швидкості

Дане прискорення можна показати за допомогою формули (3.6) [82]:

$$a_{free_road} = a_i \left(1 - \left(\frac{v_i}{v_{0,i}} \right)^\delta \right), \quad (3.6)$$

де a_i – початкове прискорення транспортного засобу;

v_i – початкова швидкість автомобіля;

$v_{0,i}$ – максимальна швидкість транспортного засобу;

δ – експонента прискорення, яка контролює "плавність" прискорення.

Прискорення є максимальним у стані спокою ($v_i=0$). Коли швидкість автомобіля наближається до максимальної швидкості $v_{0,i}$, прискорення падає до нуля [81]. Це означає, що вільне прискорення на дорозі розжене автомобіль до максимальної швидкості.

Якщо побудувати графік швидкості v від прискорення a для різних значень δ (рисунок 3.4), можна зробити висновок що цей графік визначає, як швидко водій сповільнюється, коли він наближається до максимальної швидкості. Це впливає на плавність прискорення, гальмування або їх поєднання.

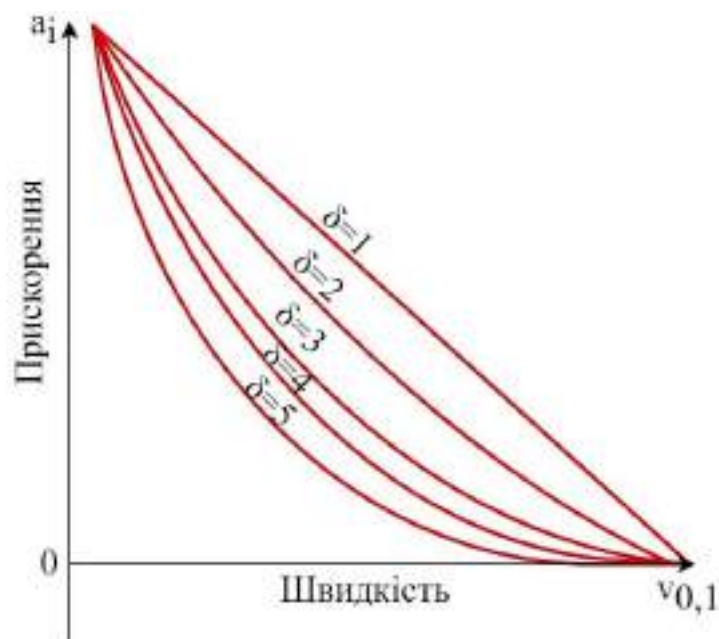


Рисунок 3.4 – Графік швидкості v від прискорення a для різних значень δ

Прискорення взаємодії пов'язане із взаємодією з транспортним засобом попереду. Його можна представити у вигляді формули 3.7 [81]:

$$a_{interaction} = -a_i \left(\frac{s^*(v_i, \Delta v_i)}{s_i} \right)^2, \quad (3.7)$$

де a_i – початкове прискорення транспортного засобу;

v_i – початкова швидкість автомобіля;

$v_{0,i}$ – максимальна швидкість транспортного засобу;

Δv_i – різниця у швидкості між транспортним засобом та тим, що знаходиться перед ним;

s^* – оптимальна відстань між транспортними засобами, яка залежить від їхніх швидкостей;

s_i – фактична відстань між транспортними засобами.

У дану формулу можна підставити значення фактично бажаної відстані між транспортним засобом i та $i-1$, після чого прискорення взаємодії буде дорівнювати рівності 3.8 [83]:

$$a_{interaction} = -a_i \left(\frac{s_{0,i} + v_i T_i}{s_i} + \frac{v_i \Delta v_i}{2s_i \sqrt{a_i b_i}} \right)^2, \quad (3.8)$$

де a_i – початкове прискорення транспортного засобу;

b_i – уповільнення для транспортного засобу;

$s_{0,i}$ – бажана відстань між транспортними засобами;

v_i – поточна швидкість транспортного засобу;

T_i – час реакції транспортного засобу;

s_i – фактична відстань між транспортними засобами;

Δv_i – різниця у швидкості між транспортним засобом та тим, що знаходиться перед ним.

Ця формула дозволяє врахувати бажану відстань між транспортними засобами та час реакції водія у випадку їх взаємодії. Крім того, вона враховує інші фактори, такі як різниця у швидкості між транспортними засобами та параметри, що характеризують їх поведінку. Це дозволяє побудувати більш точну модель взаємодії транспортних засобів на дорозі.

3.2 Проведення моделювання за допомогою Packet Tracer

Було проведено моделювання підсистеми за допомогою програмного забезпечення Packet Tracer (рисунок 3.5). Під час проєктування задача була поставлена в тому, щоб показати технічне підключення пристроїв, які мають допомогти у виявленні безпечної та небезпечної відстані між автомобілями та оповістити водія про небезпеку. Моделювання складається з двох частин, а саме верхній вигляд на дорогу, на рух автомобілів, та всередині автомобіля користувача. Програма не відображає швидкість автомобілів, вона демонструє автомобіль користувача, його безпечну та небезпечну зону, в яку може потрапити автомобіль попереду, а основне технічна частина, до якої входить світлодіод.



Рисунок 3.5 – Проведення моделювання

У світлодіоду є функція повідомлення користувача про небезпеку, якщо він червоний, а у випадку якщо – зелений, то це означає що автомобілі розташовані на безпечній відстані. Ситуацію, яка ілюструє, те що автомобіль попереду знаходиться у небезпечній зоні, зображено на рисунку 3.6. Також у даному

моделюванні не представлено детально параметри відстані між автомобілями, це зроблено схематично.



Рисунок 3.6 – Ситуація, коли автомобіль попереду на небезпечній відстані

У програмному забезпеченні Packet Tracer не передбачено виведення зображення камер, саме тому для зображення безпечної і небезпечної було використано два Metal Sensor, які будуть реагувати у якій зоні перебуває Car (автомобіль попереду). Елемент підсистеми моделювання Car було представлено у вигляді металевого мотора, на який будуть реагувати сенсору металу.

Алгоритм роботи моделі зображено на рисунку 3.7. Його робота полягає у тому, щоб спочатку було проведено відстеження, у якій зоні перебуває автомобіль. Якщо автомобіль у небезпечній або у безпечній, дані передаються на сервер через Інтернет.

А тоді дані про стан елементів підсистеми та прораховані параметри надсилаються користувачу на телефон. У даному моделюванні також відбувається увімкнення червоного або зеленого світлодіоду відповідно до перебування автомобіля попереду.

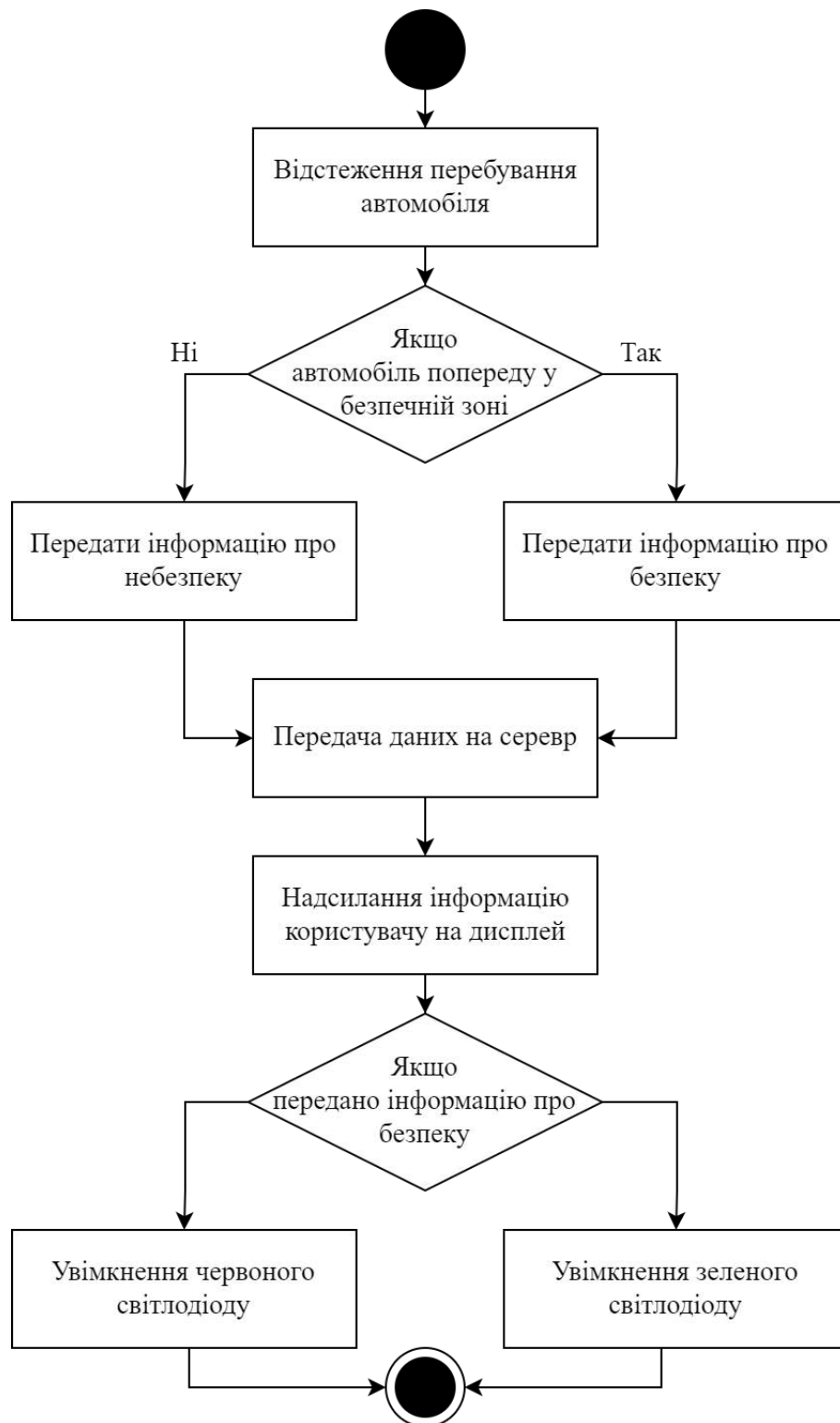


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи моделі підсистеми

У технічній частині показано, що мікроконтролер здійснює основну роботу у контролі над підсистемою, а також надсиланні дані. До мікроконтролера підключено камери переднього та заднього вигляду, світлодіод. Мікроконтролер в свою чергу за допомогою Інтернету передає отримані параметри в базу даних, які

надсилаються на телефон користувача, який здійснює роль налаштування системи та сповіщення користувача. Підключення елементів технічної системи моделювання зображено на рисунку 3.8.

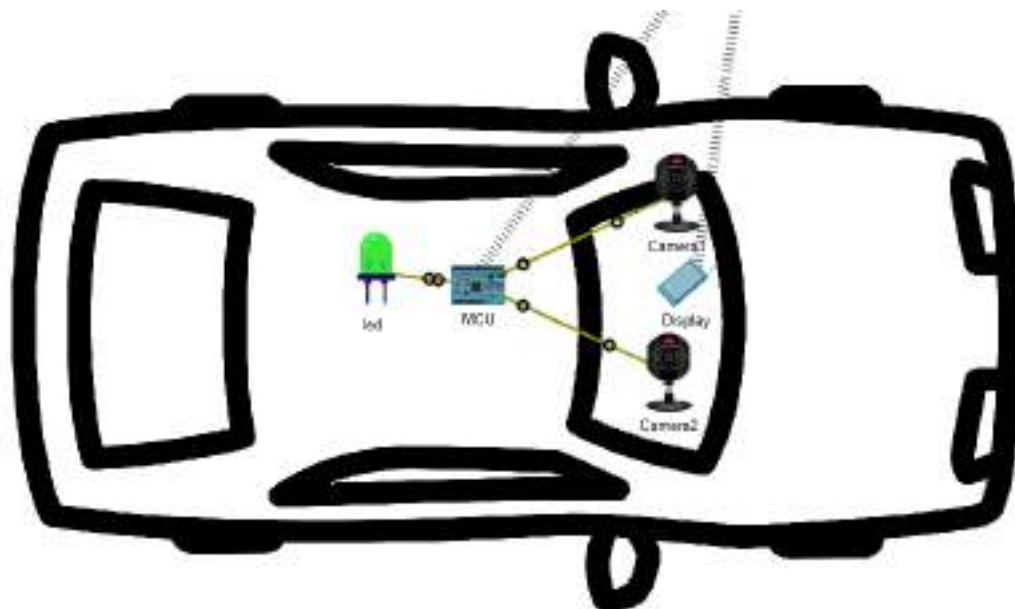


Рисунок 3.8 – Складові підсистеми всередині автомобіля

3.3 Проведення моделювання за допомогою мови програмування Python

Для точного визначення безпечної відстані в реальній системі необхідно враховувати швидкість автомобіля користувача. Згідно з загальнодоступними даними, можна виділити три сценарії взаємозв'язку між швидкістю та відстанню [33], які представлені на рисунку 3.9.

Але даних трьох сценаріїв мало, потрібно провести додаткове моделювання для опису всіх ситуацій, а саме співвідношення швидкостей автомобіля користувача до відстані між ним і автомобілем попереду. Для створення моделі було використано мову програмування Python, а саме такі бібліотеки, як SimPy, turtle,

Для моделювання було створено два автомобіля. Перший має їхати автомобіль – Car 1, слідом має виїхати автомобіль користувача майбутньої підсистеми – Car 2.

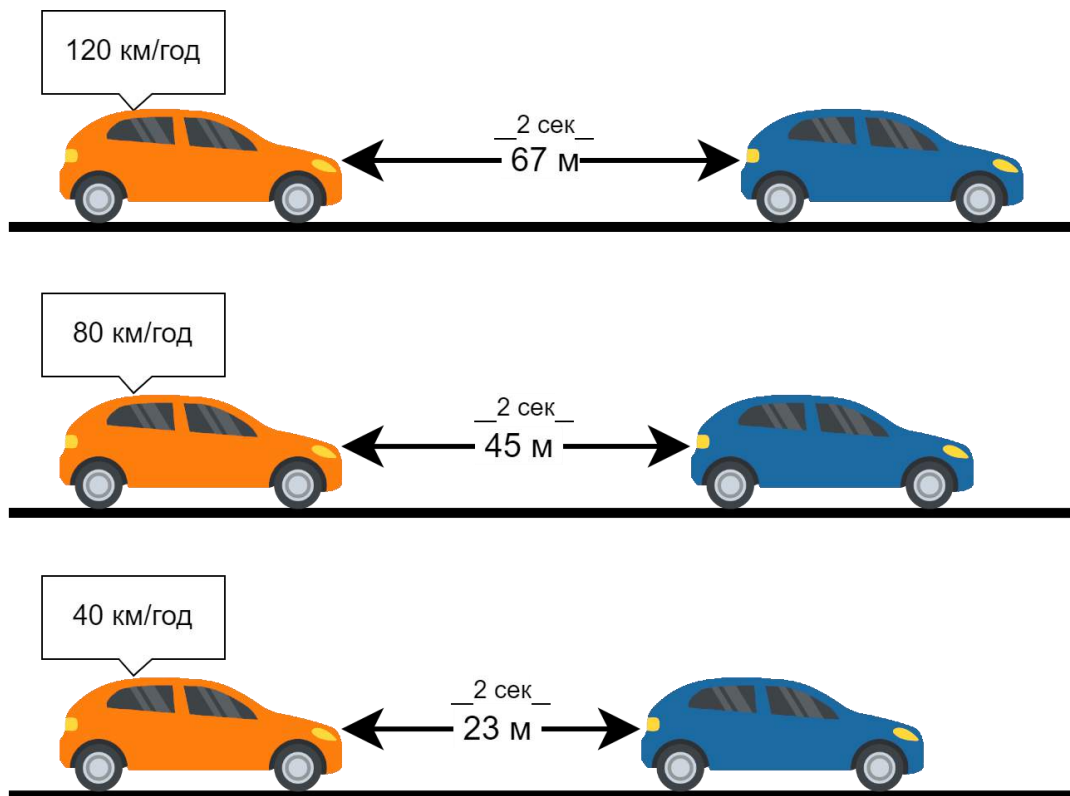


Рисунок 3.9 – Співвідношення швидкості

Для моделювання ситуації в кодї створюється клас Car з параметрами, такими як швидкість, відстань, час старту, вага та погодні умови.

Пояснення методів в кодї:

1. Метод `drive`:

- використання `sleep` для встановлення таймауту для початку руху автомобіля;
- симуляція руху автомобіля з оновленням відстані, врахуванням погодних умов та порівнянням відстаней між двома автомобілями.

2. Метод `calculate_speed_factor`:

- визначення коефіцієнта швидкості на основі погодних умов.

3. Метод `compare_distances`:

- порівняння відстаней між двома автомобілями після певного інтервалу часу;
- вивід результатів порівняння та виявлення можливості зіткнення.

4. Метод `check_collision`:

- перевірка можливості зіткнення автомобілів на основі різниці відстаней.
5. Метод `update_turtle_position`:
 - оновлення позиції графіки черепахи (`turtle`) на основі відстані автомобіля.
 6. Метод `draw_dashed_line`:
 - зображення пунктирної лінії для представлення дороги на графіці черепахи.
 7. Метод `draw_rectangle` та `draw_background`:
 - зображення фону та розміщення автомобілів на графіці черепахи для візуалізації.
 8. Метод `plot_positions`:
 - створення графіка для візуалізації руху автомобілів у вигляді графіку.
 9. Метод `simulate_car`:
 - ініціалізація середовища `simpy` та налаштування графіки черепахи;
 - створення двох автомобілів із заданими параметрами та погодніми умовами;
 - запуск процесів руху для обох автомобілів та виконання симуляції протягом певного часу.

Запуск симуляції руху автомобілів в кінці здійснюється виклик `simulate_car()`.

Цей експеримент моделює рух двох автомобілів на дорозі та включає в себе кілька аспектів:

1. Параметри автомобілів:
 - кожен автомобіль має визначену швидкість, відстань, час початку руху, вагу та погодні умови (дощ, сніг або інші).
2. Моделювання руху:
 - використовується бібліотека `simpy` для створення середовища та моделювання часових та інших подій;

- кожен автомобіль рухається вперед із заданою швидкістю, оновлюючи свою відстань та враховуючи погодні умови.
3. Погодні умови:
- враховується вплив різних погодних умов (дощ, сніг) на швидкість автомобілів. Наприклад, у дощову погоду швидкість може зменшуватися на 20%, у сніг - на 40%.
4. Порівняння та виявлення можливості зіткнення:
- автомобілі порівнюють свої відстані на певних інтервалах часу;
 - якщо один автомобіль наздоганяє інший, і вони знаходяться дуже близько один до одного, це може призвести до зіткнення.
5. Візуалізація:
- використовується бібліотека turtle для створення візуальної репрезентації автомобілів та дороги;
 - графік виводиться для візуалізації руху автомобілів та виявлення можливості зіткнення.

Для першого експерименту відстань, яку мають подолати автомобілі: 1 км. Швидкість Car 1 становить 80 км/год. Швидкість Car 2 становить 120 км/год. Візуалізація проведення експерименту 1 зображено на рисунку 3.10.

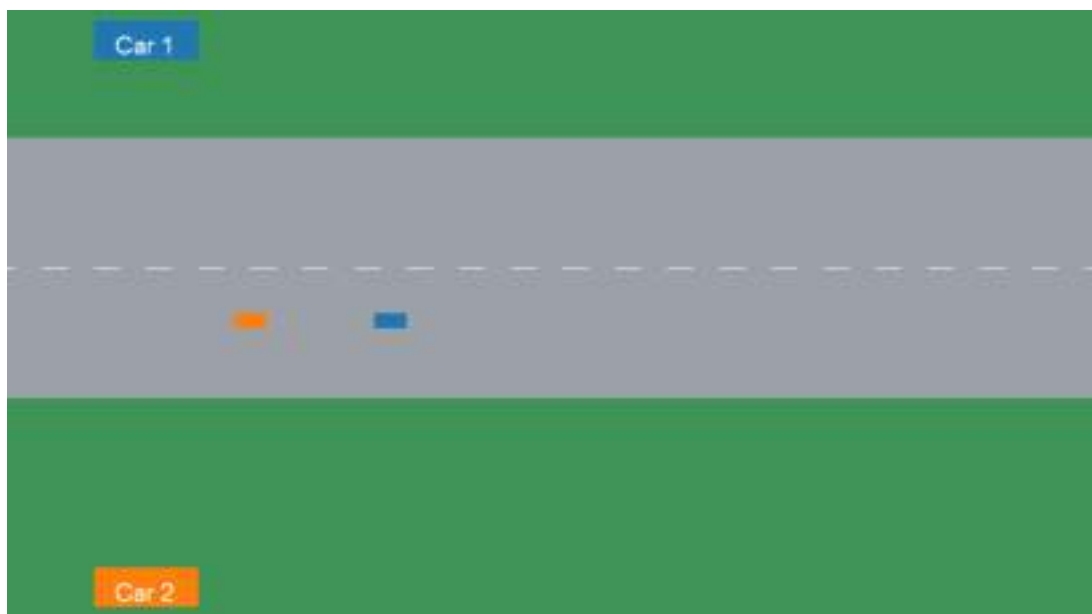


Рисунок 3.10 – Виконання експерименту 1

Оранжевим кольором відображено Car 1, а Car 2 – синім. Після закінчення моделювання руху автомобілів результати відображаються на графіку, який показано на рисунку 3.11. Даний графік ілюструє залежність переміщення автомобілів від часу. На ньому відображаються одразу показники двох автомобілів для зручності порівняння результатів.

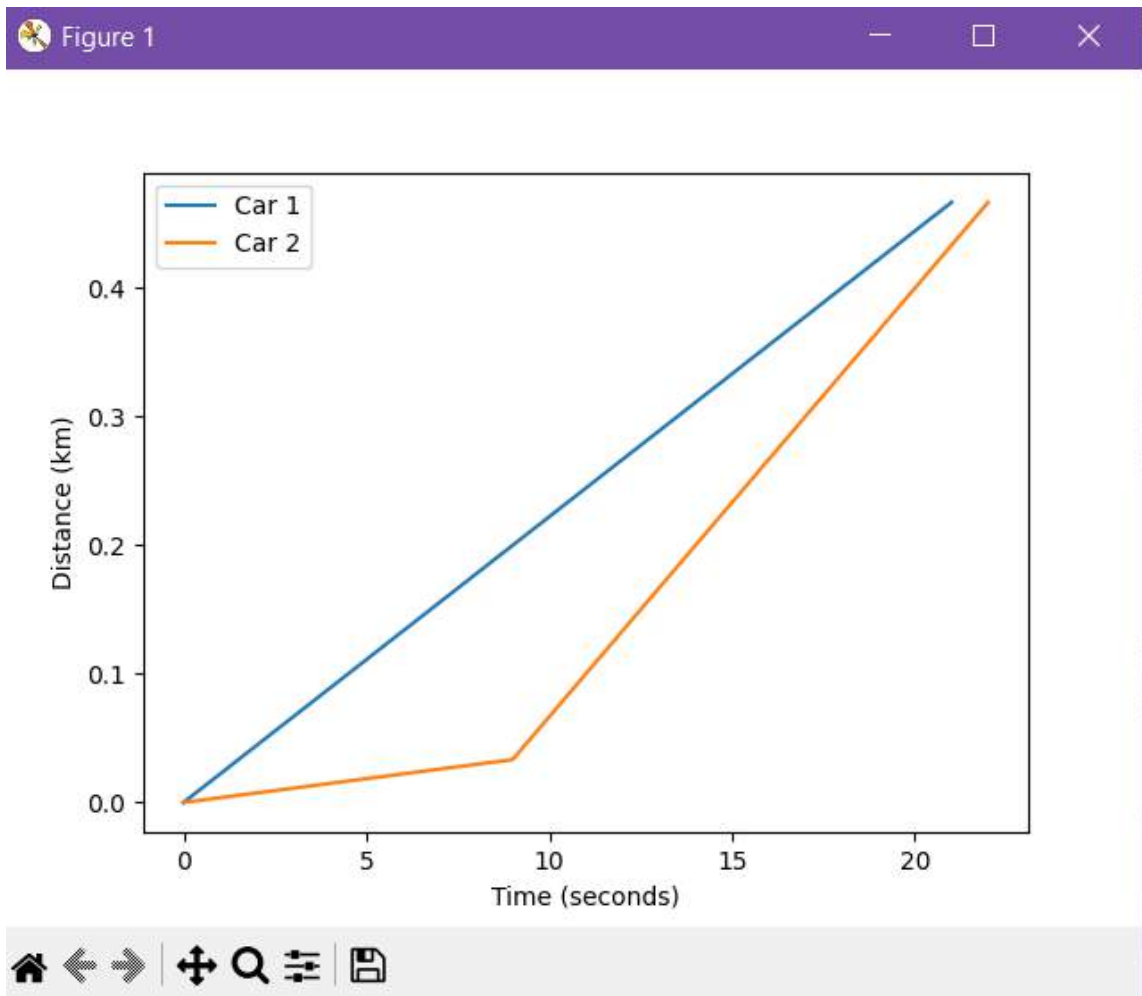


Рисунок 3.11 – Графік залежності шляху від часу

Додатково результати відображаються в консолі, які зображено на рисунку 3.12. Потім їх легко можна перенести до таблиці. Спочатку відображається шлях пройдений автомобілем Car 1. Коли розпочне рух Car 2, то після того буде відображатися його пройдений шлях.

Далі відображається час відмітки даних. В кінці здійснюється підрахунок відстані між автомобілями. Відмітка та обрахунок даних триває доти поки

автомобілі не зіткнуться, тоді виконання програми буде завершено. Після проведення експерименту 1, його результати було відображено в таблиці 3.1.

```

Car 2: 0.48 km
Difference: 0.02 km

Car 1: Traveled 0.44 km
Car 2: Traveled 0.43 km
Comparison at 21 seconds:
Car 1: 0.44 km
Car 2: 0.43 km
Difference: 0.01 km

Car 1: Traveled 0.47 km
Car 2: Traveled 0.47 km
Comparison at 22 seconds:
Car 1: 0.47 km
Car 2: 0.47 km
Difference: 0.00 km

Collision at 22 seconds:

```

Рисунок 3.12 – Консоль з виведеними результатами

Таблиця 3.1 – Результати експерименту 1

Секунди	Пройдено Car 1	Пройдено Car 2	Відстань між автмобілями
1	виїхав		
2	0.02 км	-	
3	0.04 км	-	
4	0.07 км	-	
5	0.09 км	-	
6	0.11 км	-	
7	0.13 км	-	
8	0.16 км	виїхав	
9	0.18 км	0.03 км	0.14 км
10	0.20 км	0.07 км	0.13 км
11	0.22 км	0.10 км	0.12 км
12	0.24 км	0.13 км	0.11 км

Кінець таблиці 3.1 – Результати експерименту 1

Секунди	Пройдено Car 1	Пройдено Car 2	Відстань між автомобілями
13	0.27 км	0.17 км	0.10 км
14	0.29 км	0.20 км	0.09 км
15	0.31 км	0.23 км	0.08 км
16	0.33 км	0.27 км	0.07 км
17	0.36 км	0.30 км	0.06 км
18	0.38 км	0.33 км	0.05 км
19	0.40 км	0.37 км	0.03 км
20	0.42 км	0.40 км	0.02 км
21	0.44 км	0.43 км	0.01 км
22	0.47 км	0.47 км	зіткнення

Обидва автомобілі вирушають у дорогу і рухаються вперед із власною швидкістю. Однак внаслідок вищої швидкості автомобіля Car 2 відстань між ним та Car 1 зменшується з кожною секундою. На двадцятій секунді ця відстань стає настільки мала, що вони зіткнулися.

При цьому можна сказати, що вища швидкість Car 2, ніж у Car 1 та незмінна швидкість Car 1 призвели до зіткнення. Оскільки Car 2 наздогнав Car 1. Погодні умови (сонячна погода) в даному випадку не вплинули на результат, оскільки не було факторів, що обмежують видимість дороги чи здатність утримувати стабільність та контроль над рухом на дорозі.

Отже, висновок експерименту 1 полягає в тому, що врахування швидкості та дотримання безпечної відстані між автомобілями є важливими аспектами дорожньої безпеки, які варто враховувати при проектуванні дорожнього руху.

Після проведення експериментів було складено графік залежності швидкості автомобіля до відстані до автомобіля попереду. Для підсистеми було враховані усі можливі дані швидкості від 0 км/год до 200 км/год, що можна спостерігати на рисунку 3.13.

Також було враховано безпечну відстань в різних умовах, оскільки водій не завжди пересувається при денному світлі по якісній дорозі без перешкод. У таблиці 3.2 було визначено співвідношення між швидкістю та відстанню при різних умовах.

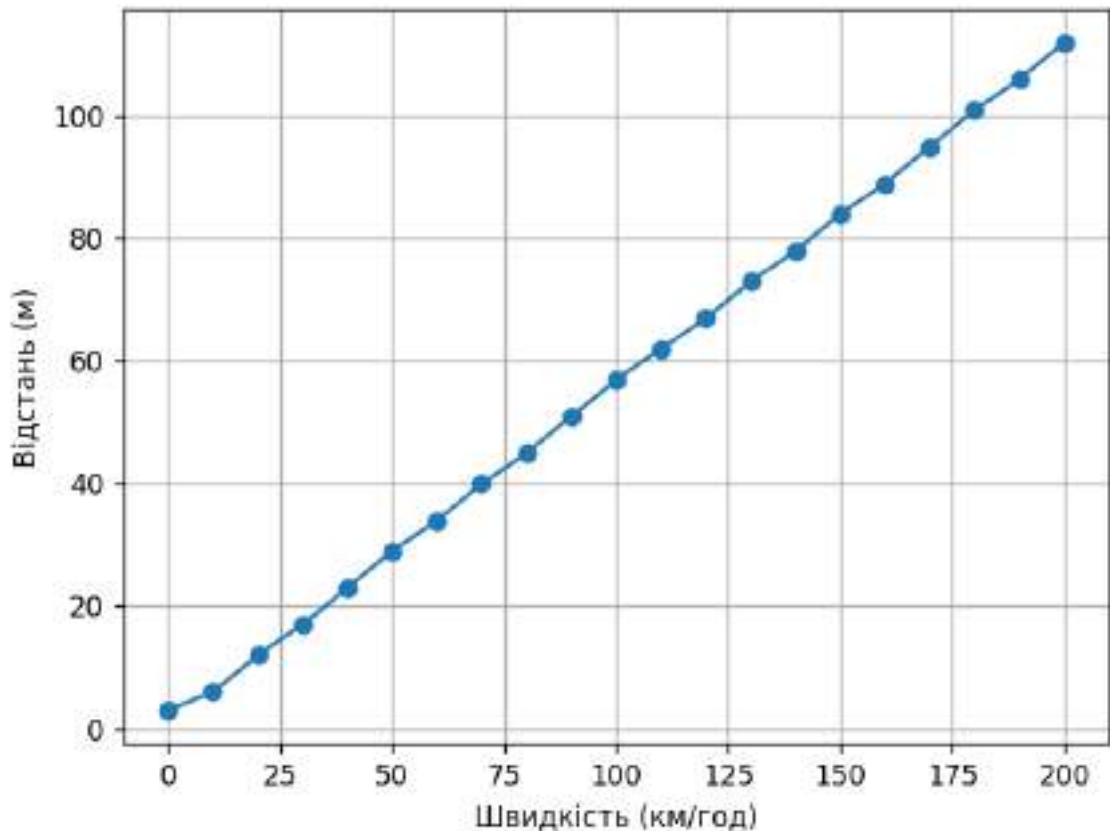


Рисунок 3.13 – Графік залежності швидкості від відстані

Розглянуті різні типи дорожніх покриттів, включаючи ті, де на дорозі можуть бути перешкоди, у нічний час, вдень та вночі при наявності снігу чи інею на дорозі та під час ожеледиці.

Визначені співвідношення дають можливість водієві у разі чого вчасно зреагувати. Відповідно до значень було побудовано графік, який показано на рисунку 3.14.

Згідно графіку залежності швидкості від відстані при різних умовах на дорозі можна спостерігати, що чим складніші ситуації тим більша відстань між автомобілями. Тому що водію потрібно більше часу для реакції.

Таблиця 3.2 – Співвідношення відстані до швидкості

Швидкість (км/год)	Відстань (м)				
	При перешкодах в денний час	У нічний час	Вдень, при наявності снігу або інею на дорозі	Вночі, при наявності снігу або інею на дорозі	Під час ожеледиці
0	6	6	7	8	9
10	9	9	12	15	18
20	15	15	16	20	24
30	21	21	25	30	36
40	27	27	33	40	49
50	33	33	41	50	61
60	39	39	49	60	73
70	45	45	57	71	85
80	51	51	65	81	97
90	57	57	73	91	109
100	63	63	81	101	121
110	69	69	89	111	133
120	75	75	97	121	145
130	81	81	105	131	157
140	87	87	113	141	169
150	93	93	121	151	181
160	99	99	129	161	193
170	105	105	137	171	205
180	111	111	145	181	217
190	117	117	153	191	229
200	123	123	161	201	241

Далі було проведено моделювання транспортного шляху на мікроскопічному рівні з метою покращити точність даних отриманих в попередніх експериментах. Для цього було використано наступні бібліотеки: Dear PyGui; SciPy; NumPy; Math; UUID.

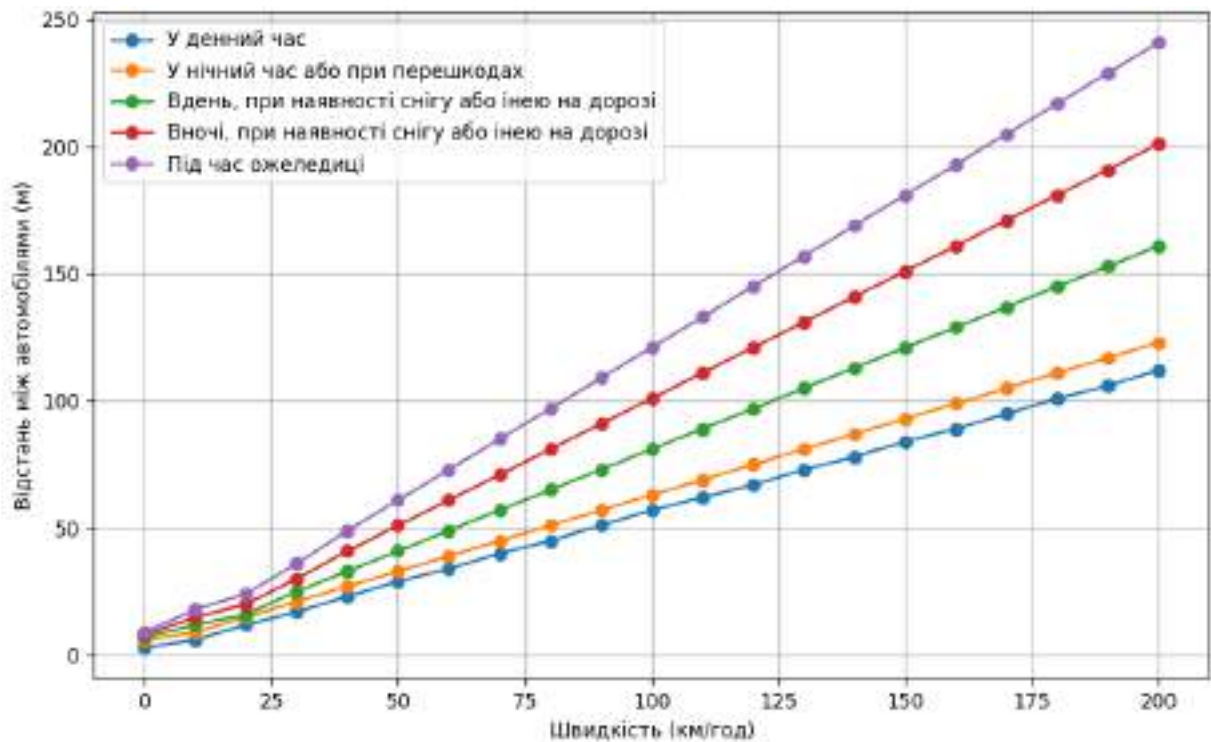


Рисунок 3.14 – Графік залежності швидкості від відстані при різних умовах на дорозі

Для візуалізації даних і графічного відображення сегментів дороги та транспортних засобів у симуляції було використано бібліотеку Dear PyGui. Dear PyGui - це бібліотека для створення графічних інтерфейсів користувача (GUI) для програм на мові Python. Основні особливості Dear PyGui включають в себе простоту використання, високу продуктивність та можливість створення динамічних інтерфейсів.

Для побудови дороги, з бібліотеки SciPy було використано модуль `scipy.spatial.distance`, який надає функції для обчислення різних метрик відстаней між точками в просторі. Цей модуль корисний при роботі з науковими

обчисленнями, особливо в аналізі даних, машинному навчанні та інших областях, де важливо вимірювати відстані або схожість між наборами даних.

Для даної частини потрібний також модуль `scipy.interpolate.interp1d` з бібліотеки SciPy. Він містить різноманітні методи інтерполяції для роботи з наборами даних. Зазвичай використовується для створення неперервної апроксимації функції для обчислення значень між вказаними точками даних.

Також з бібліотеки SciPy потрібно імпортувати модуль `scipy.integrate.quad`, що використовується для чисельного інтегрування (знаходження значень визначеного інтегралу) в Python. Вона використовує адаптивний метод квадратур для обчислення інтегралу чисельно.

Для моделювання шляху було імпортовано `collections.deque`, що є частиною модуля `collections` у стандартній бібліотеці мови програмування Python. `deque` вказує на `double-ended queue` (двостороння черга). Це структура даних, яка надає ефективний спосіб додавання та видалення елементів як з початку, так і з кінця черги.

Додатково було використано бібліотеку NumPy (Numerical Python). Вона є популярною бібліотекою для мови програмування Python, яка надає підтримку для роботи з великими, багатовимірними масивами та матрицями, разом із високорівневими математичними функціями для роботи з цими об'єктами. NumPy є основою для багатьох інших бібліотек для наукового обчислення в Python, таких як SciPy, Pandas, Matplotlib і інших.

А також для даної частини було використано стандартну бібліотеку мов програмування Python – `math`, яка надає математичні функції для виконання різноманітних операцій. Завдяки цій бібліотеці можна виконувати розрахунки з числами, використовуючи різні математичні операції, такі як обчислення тригонометричних, логарифмічних, експоненціальних функцій, а також округлення чисел і багато інших.

Для генерації унікальних ідентифікаторів автомобілів, які не повинні повторюватися в системі було використано бібліотеку UUID. Також у класі створення автомобілів було використано бібліотеку NumPy. Спочатку було

створено два відрізки дороги, по яким автомобілі рухалися в різних напрямках. Тобто по одному шляху ліворуч, а по іншому праворуч, що показано на рисунку 3.15.

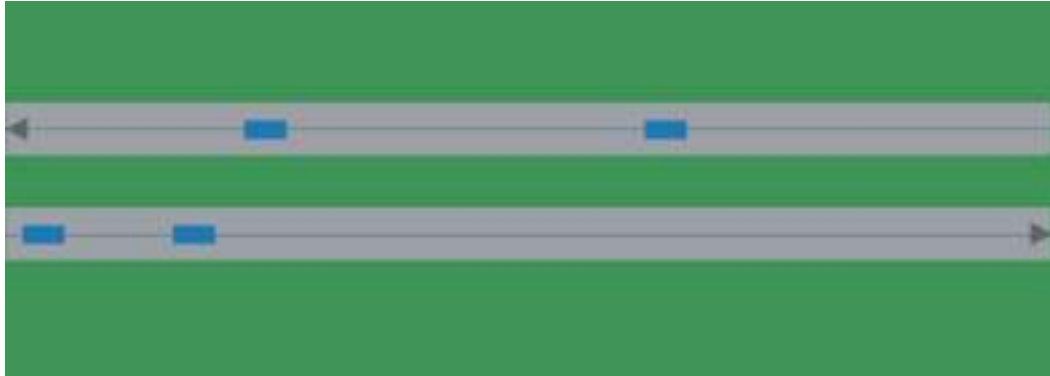


Рисунок 3.15 – Моделювання двох автомобільних шляхів

Дане моделювання було створено по точкам, що зображено на осі координат на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 – Моделювання транспортного шляху на осі координат

У даному проєкті головне правильно встановлювати початок і кінець шляху, адже від цього залежить у якому напрямку буде рухатися автомобіль. В даному варіанті транспорт, що їде вліво починає свій шлях з точки $(50, -10)$, а закінчує рух в точці $(-50, -10)$. Автомобіль, що здійснює рух вправо стартує з точки $(-50, 0)$, а фінішує в $(50, 0)$.

З урахуванням важливості покращення безпеки на дорогах, насамперед, слід звернути увагу на транспортні розв'язки, які містять небезпечні ділянки. Ці відрізки вимагають спеціальних заходів безпеки та урахування різних технічних аспектів. Безпечна відстань між автомобілями в таких місцях відрізняється від звичайних умов і залежить не лише від їх швидкості.

У зв'язку з цим було проведено моделювання транспортного вузла, що відомий як "Листок конюшини". Такий тип розв'язки можна зустріти по всьому світу, включаючи Україну. Тому варто детально проаналізувати рух транспортних засобів та дотримання безпечної відстані на цій частині дороги.

Для цього проєкту було взято за приклад "Листок конюшини", що розташований в Києві неподалік від станції метро "Чернігівська", яку зображено на супутниковому знімку, що був отриманий з використанням сервісу Google Maps. Конкретно, для отримання зображення "Листка конюшини" використовувалася функція супутникового перегляду в Google Maps. Для кращого уявлення щодо географічного положення, конфігурації та особливостей маршруту, було використано схематичне зображення відрізка цієї дороги на сервісі Google Maps. На рисунку 3.17 представлена схематична структура дороги, зафіксована у форматі скріншоту.



Рисунок 3.17 – Схематичне зображення карти транспортної розв'язки

Вона надає деталізовану картографічну інформацію про розташування "Листка конюшини" у контексті дорожньої мережі міста. "Листок конюшини" - це інноваційна транспортна розв'язка, яка використовує не лише принцип двох точок, але і криві Безьє з трьома точками. Ця розв'язка впроваджується на перехрестях автомагістралей з метою оптимізації руху та зменшення заторів.

Криві Безьє використовуються для побудови гладких та ефективних траєкторій руху транспортних засобів через цю розв'язку. Технічно, кожна крива Безьє визначається контрольними точками, які визначають її форму. Ці точки встановлюються з урахуванням потрібної кривизни та напрямку руху на відповідному відрізку шляху [84].

Для побудови так званих "листочків конюшини" використовуються три криві Безьє, що дозволяє створити оптимальну траєкторію руху. Перша крива розпочинається у точці $(0, -60)$ та завершується у точці $(20, -80)$, при цьому проміжна точка $(0, -70)$ використовується для покращення геометрії та ефективності руху.

На рисунку 3.18 представлена схема побудови цієї транспортної розв'язки, де чітко відображені вказані точки та криві Безьє, що утворюють "листок конюшини".

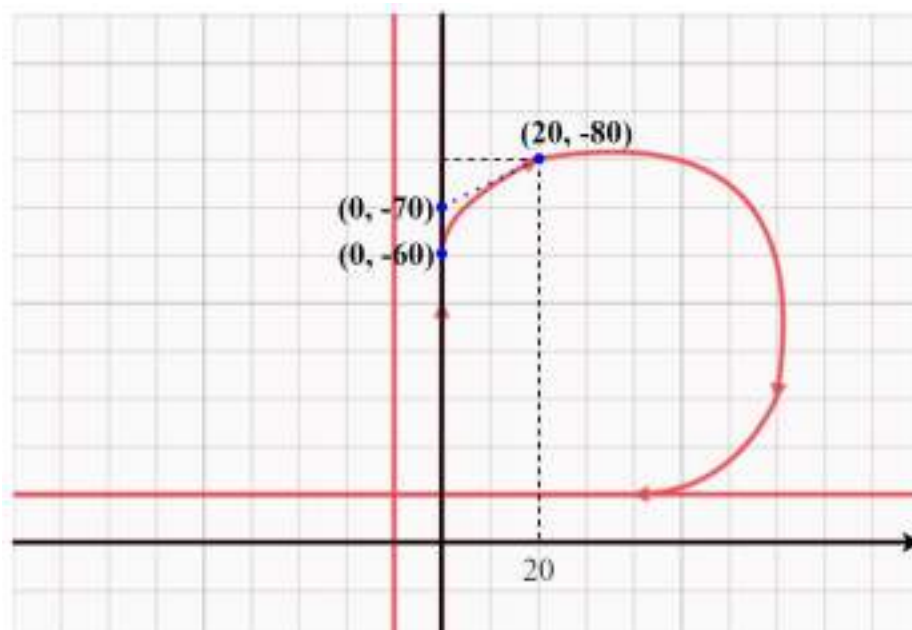


Рисунок 3.18 – Перша частина "листка конюшини"

Наступна крива Безьє починається в точці $(20, -80)$ та закінчується в $(70, -30)$, причому проміжна точка, розташована між цими двома крайніми точками, має координати $(80, -90)$. Принцип побудови цієї кривої зображено на рисунку 3.19.

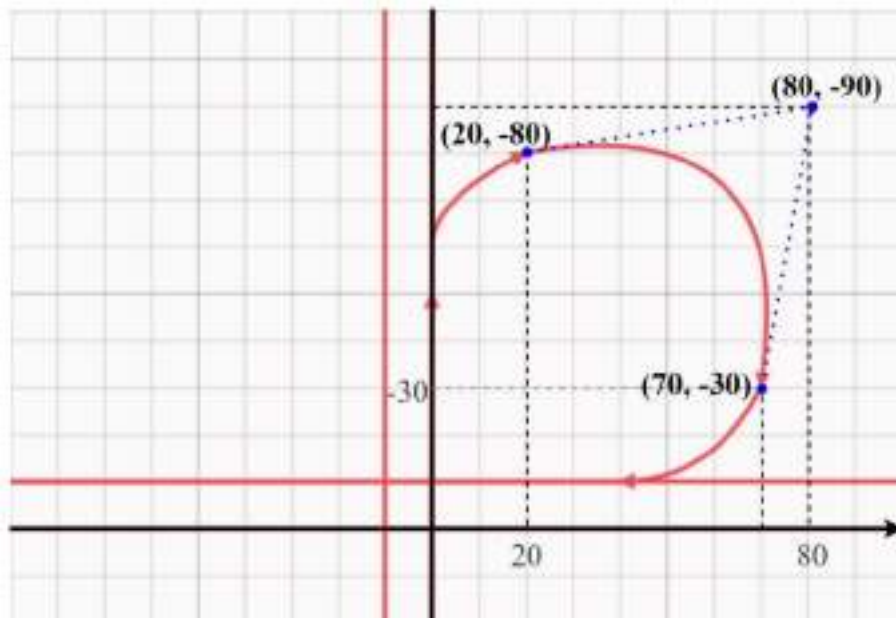


Рисунок 3.19 – Друга частина “листка конюшини”

Третя частина, яка подібно до "листка конюшини", з'єднана з прямою автомагістраллю, починається в точці $(70, -30)$ та завершується в точці стикування з $(40, -10)$. Проміжна точка на цій кривій Безьє має координати $(60, -10)$. Формування цієї кривої Безьє на основі координат цих точок проілюстроване на рисунку 3.20.

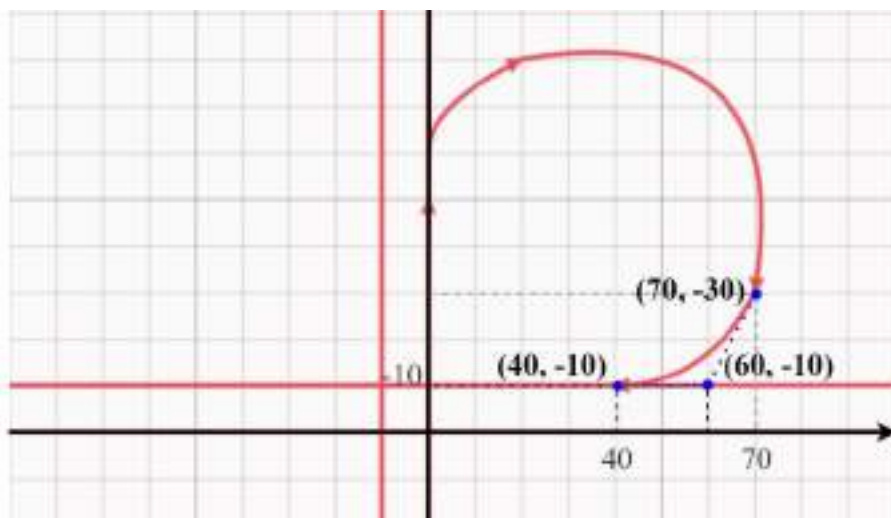


Рисунок 3.20 – Третя частина “листка конюшини”

Перші чотири траєкторії визначаються як перехрестя магістралей, по яких автомобілі мають рухатися прямо, відповідно до показів на рисунку 3.21. Для кожної з цих траєкторій було встановлено точки старту та фінішу руху транспортних засобів. Координати цих точок наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Координати точок перехрестя магістралей

Позначка на рисунку 3.18	Опис (рух автомобіля)	Координати	
		Перша точка	Друга точка
а)	шлях з права вліво	(250, -10)	(-250, -10)
б)	шлях зверху вниз	(-10, -200)	(-10, 200)
в)	шлях знизу вверх	(0, 200)	(0, -200)
г)	шлях зліва вправо	(-250, 0)	(250, 0)

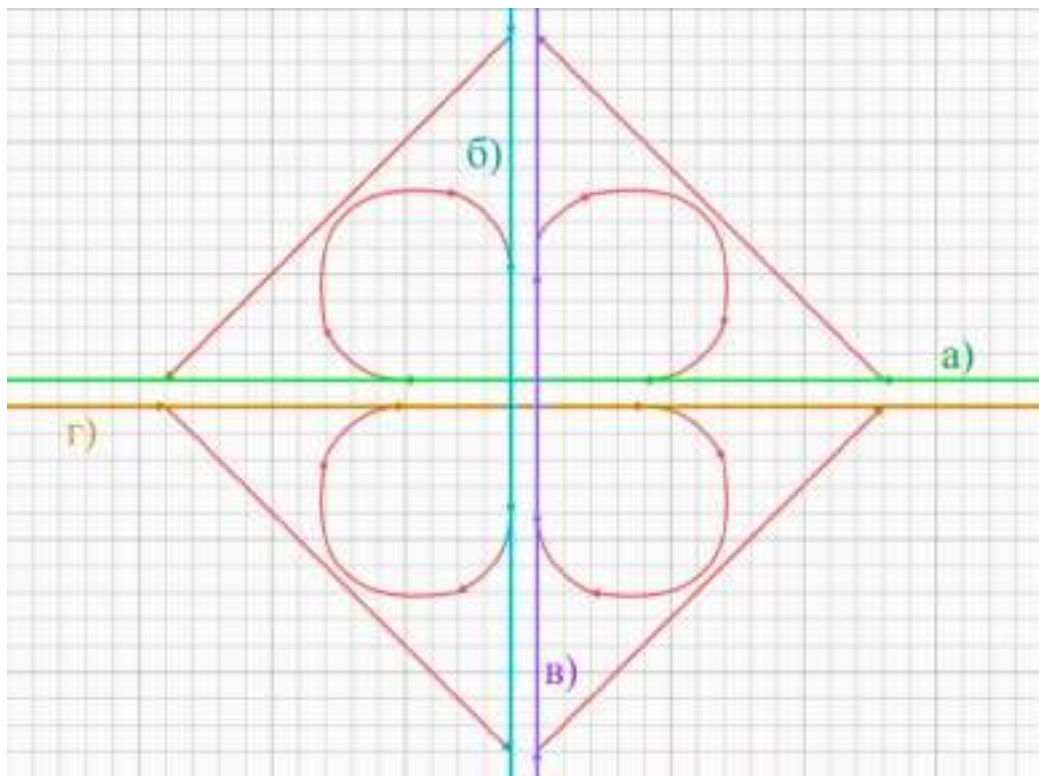


Рисунок 3.21 – Перехрестя автомагістралей:

- а) шлях з права вліво; б) шлях зверху вниз;
- в) шлях знизу вверх; г) шлях зліва вправо

Під час створення сегменту "Листка конюшини" в процесі реалізації заданого маршруту виникає складність через потребу вказати кілька ключових точок. Рух автомобіля не відбувається по прямих, а складається з плавних кривих, що характеризується криволінійними траєкторіями, що показані на рисунку 3.22 та детальні координати цих ключових точок можна знайти у таблиці 3.4.

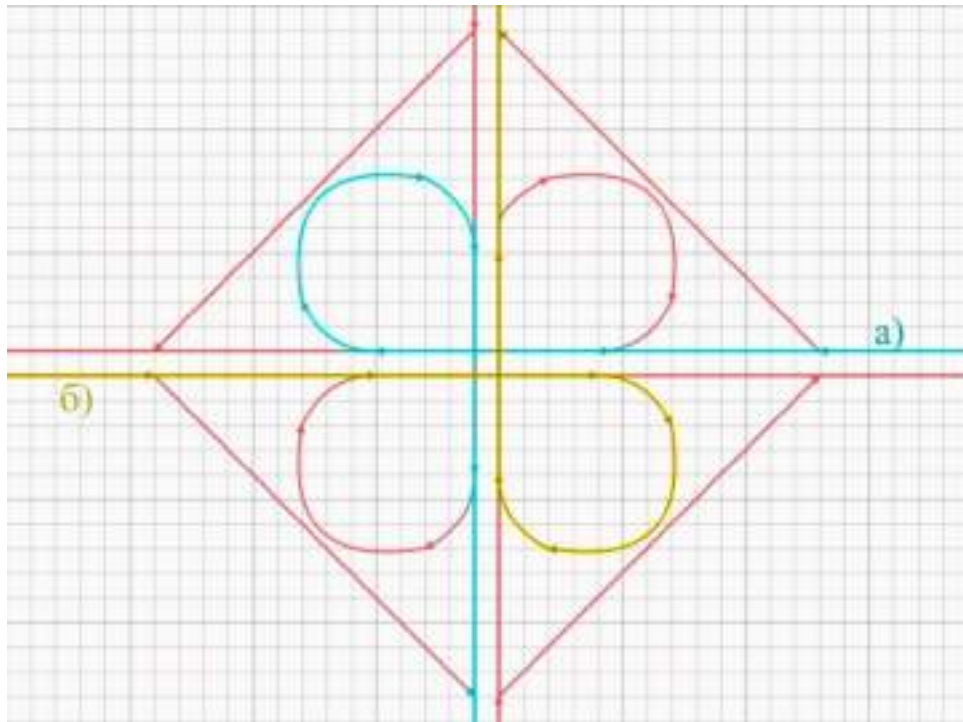


Рисунок 3.22 – Транспортна розв’язка частин “Листка конюшини”:

а) ліва верхня частина; б) права нижня частина

Таблиця 3.4 – Координати частин “Листка конюшини”

Позначка на рисунку 3.18	Опис (рух автомобіля)	Координати		
		Перша точка	Друга точка	Третя точка
а)	ліва верхня частина	(250, -10)	(-50, -10)	-
		(-50, -10)	(-70, -10)	(-80, -30)
		(-80, -30)	(-90, -90)	(-30, -80)
		(-30, -80)	(-10, -70)	(-10, -50)
		(-30, -80)	(-10, 200)	-

Кінець таблиці 3.4 – Координати частин “Листка конюшини”

Позначка на рисунку 3.18	Опис (рух автомобіля)	Координати		
		Перша точка	Друга точка	Третя точка
б)	права нижня частина	(-250, 0)	(40, 0)	-
		(40, 0)	(60, 0)	(70, 20)
		(70, 20)	(80, 80)	(20, 70)
		(20, 70)	(0, 60)	(0, 40)
		(0, 40)	(0, -200)	-

Для створення цих траєкторій використовуються криві Безьє, що побудовані за допомогою трьох точок кожна. Вони дозволяють ефективно моделювати плавні переходи між точками маршруту.

Також, для повноцінного розроблення транспортної інфраструктури частини "Листка конюшини", була впроваджена ромбова схема. Для створення кожної з чотирьох частин необхідно визначити шість точок. Подробиці щодо побудови ромбової схеми в цій транспортній інфраструктурі можна знайти на рисунку 3.23. Координати точок для цих доріг наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Координати точок частин ромбової схеми

Позначка на рисунку 3.18	Опис (рух автомобіля)	Координати	
		Перша точка	Друга точка
а)	ліва верхня	(-10, -200),	(-10, -140)
		(-10, -140)	(-140, -10)
		(-140, -10)	(-250, -10)
б)	права верхня	(250, -10)	(130, -10)
		(130, -10)	(0, -140)
		(0, -140)	(0, -200)

Кінець таблиці 3.5 – Координати точок частин ромбової схеми

Позначка на рисунку 3.18	Опис (рух автомобіля)	Координати	
		Перша точка	Друга точка
в)	ліва нижня	(-250, 0),	(-140, 0)
		(-140, 0)	(-10, 130)
		(-10, 130)	(-10, 200)
г)	права нижня	(0, 200)	(0, 130)
		(0, 130)	(130, 0)
		(130, 0)	(250, 0)

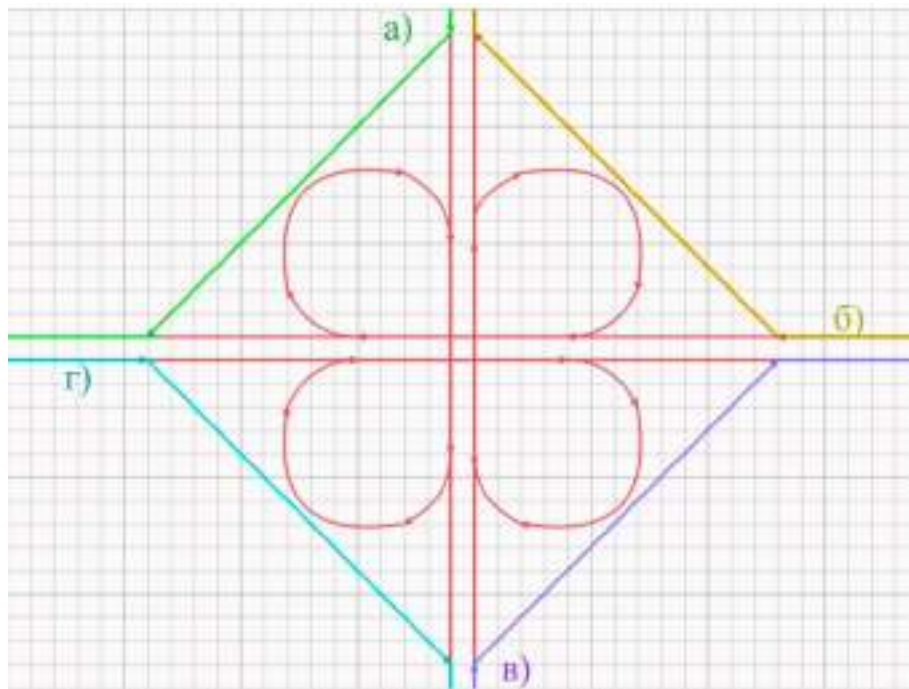


Рисунок 3.23 – Частини ромбової схеми “Листка конюшини”:

- а) ліва верхня; б) права верхня;
в) ліва нижня; г) права нижня

У результаті було отримано наступну модель транспортної розв’язки “Листка конюшини”. Після запуску симуляції, яка відображена на рисунку 3.24, система виявила та зареєструвала кількість аварій, що сталися. Моделювання завершилося, коли всі автомобілі, їх кількість була передбачена заздалегідь, дісталися від

початкової точки до кінцевої. У цьому експерименті було заплановано дванадцять різних маршрутів для автотранспорту вздовж даного транспортного вузла.

Для розрахунку безпечності дорожньої розв'язки було прийнято рішення використати формулу 3.9:

$$SPI = \frac{N_{crush}}{N_{car}} 100\%, \quad (3.9)$$

де SPI (Safety Performance Indicator) – показник безпеки на дорозі;

N_{crush} – кількість зіткнень на дорозі;

N_{car} – кількість автомобілів.

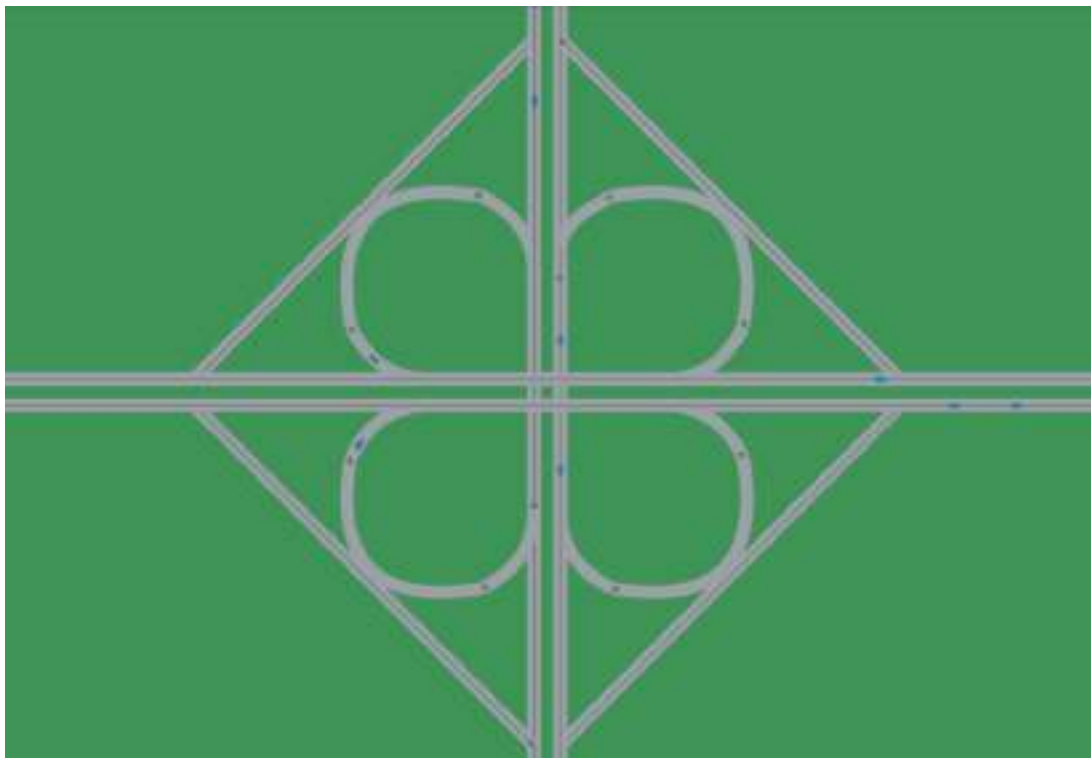


Рисунок 3.24 – Запуск симуляції

Перші експерименти показали, що транспортна розв'язка на 39% є небезпечною, що створює серйозні загрози для безпеки громадян. Однак, не було з'ясовано конкретні причини аварій та їх місця на дорозі. Щоб отримати більш детальну картину, було прийнято рішення розділити маршрути на дві категорії:

прямі та заокруглені дороги. Це дозволило чітко визначити, де саме трапляються найбільше аварій та які саме частини доріг потребують більшої уваги під час забезпечення безпечної відстані транспортних засобів.

Після проведення наступних експериментів виявлено, що лише 2% транспортних аварій трапляються на прямій ділянці дороги, тоді як цифра зростає до 40% на заокруглених ділянках транспортних розв'язок. Детальний аналіз даних показав, що більшість аварій на прямій дорозі насправді відбуваються при виїзді з заокруглених частин. Цей висновок спонукав на подальше дослідження дорожніх ділянок, щоб зрозуміти фактори, які призводять до таких небезпек.

На прямих дорогах без гострих поворотів може здаватися, що безпечна відстань менш критична, особливо якщо немає значних перешкод на дорозі. Однак, не слід забувати про можливість раптових ситуацій, таких як гальмування інших водіїв. Тому важливо залишати достатню відстань для безпечної реакції.

На заокруглених дорогах, де є багато поворотів, утримання безпечної відстані є особливо важливим, оскільки інші автомобілі можуть раптово з'являтися через повороти. Звивиста дорога може також призводити до обмеженої видимості водіїв, що рухаються перед автомобілем, коли дорога знаходиться на повороті. Це вимагає збільшеної уваги та відстані.

В обох випадках важливо дотримуватися безпечної відстані, щоб мати достатньо часу на реакцію на можливі загрози чи непередбачені ситуації. Відстань для безпечного руху на звивистій дорозі може бути більшою, оскільки час реакції та гальмувальний шлях можуть збільшуватися. Звивисті дороги зазвичай включають гострі повороти, що може призводити до того, що водії не можуть бачити автомобілі, що рухаються за поворотом, до того, як досягнуть нього.

Отже, важливо враховувати ці фактори при визначенні безпечної відстані. Загальною рекомендацією може бути збільшення відстані від 1,5 до 2 разів у порівнянні з безпечною відстанню на прямій дорозі. Тобто, якщо на прямій дорозі безпечна відстань становить 60 метрів, то на звивистій дорозі може бути розумним утримувати відстань більше, наприклад, в межах 90-120 метрів або більше, залежно від конкретних умов руху.

Важливо також враховувати інші чинники, такі як швидкість руху, погодні умови та видимість, оскільки вони також можуть впливати на безпеку на дорозі.

Після врахування усіх аспектів було проведено інші експерименти, які показали майже відсутність аварійних ситуацій під час моделювання. На рисунку 3.25 представлені результати експериментів. Червона лінія відображає результат до внесення змін, тоді як блакитна лінія показує результат після врахування додаткових аспектів.

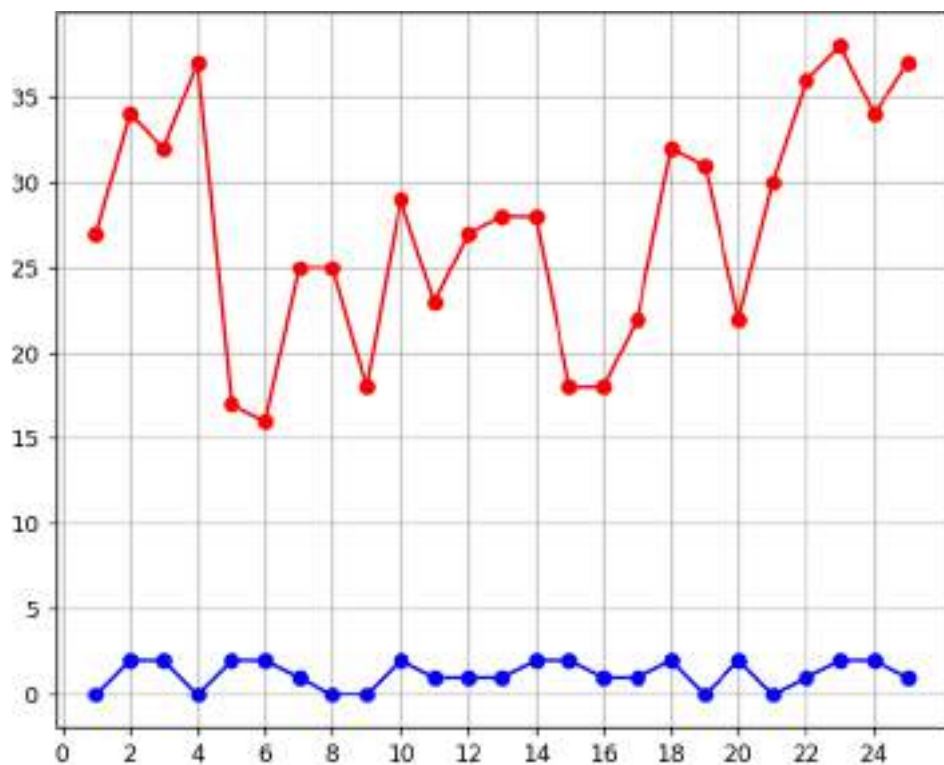


Рисунок 3.25 – Результати експерименту

3.3 Висновки

У ході роботи над даним розділом було проведено моделювання за допомогою Racket Tracer, що сприяє візуальному розумінню роботи підсистеми та її внутрішніх складових, що визначають безпечну відстань між автомобілями.

Було розроблено симуляцію дорожнього трафіку, зокрема мікроскопічну модель. Дане дослідження спрямоване на визначення оптимальних параметрів

безпечної відстані між транспортними засобами для покращення роботи підсистеми.

З результатів проведених експериментів стало відомо, що транспортна розв'язка може бути небезпечною, особливо на заокруглених ділянках дороги. Велика кількість аварій трапляється на звивистих ділянках через обмежену видимість через повороти та присутність інших транспортних засобів. Однак прямі ділянки дороги також можуть бути небезпечними, особливо якщо водії не дотримуються безпечної відстані.

Дослідження показало, що збільшення безпечної відстані між транспортними засобами, особливо на звивистих дорогах, може значно знизити ризик аварій. Збільшення відстані в 1,5-2 рази порівняно з відстанню на прямій дорозі може сприяти безпечному руху.

Додаткові експерименти, що враховують усі аспекти безпеки, показали майже повну відсутність аварій, що свідчить про ефективність прийнятих заходів. У підсумку, важливо продовжувати дослідження для визначення найкращих практик забезпечення безпечного руху на дорогах.

4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДСТАНІ ПІД ЧАС ВОДІННЯ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

4.1 Алгоритм обчислення відстані

Для визначення положення транспортного засобу на кадрі з відео та обчислення відстані до нього було розроблений алгоритм. Він ефективний для визначення відстані за допомогою однієї та двох камер. Діаграму станів послідовності кроків дій даного алгоритму зображено на рисунку 4.1.

Для початку для здійснення розрахунків слід отримати параметри з двох камер. А саме слід здійснити ініціалізацію камер, початкову настройку для отримання зображень. Далі відбувається отримання кадрів. Згідно якого визначаються кути огляду та розміру зображення.

Наступним кроком є визначення положення об'єкта на зображенні. Відбувається виділення контурів об'єкта за допомогою спеціального алгоритму. Далі визначається центр об'єкту.

Але шуканого об'єкта може не бути на зображенні. Тоді має передатися спеціальне повідомлення системі про відсутність транспортного засобу на кадрі. Тому проводити обчислення у цьому випадку немає сенсу.

Якщо об'єкт виявлено, то виконуються розрахунки та подальша обробка даних. У цьому випадку обчислюється відстань. Для цього використовуються параметри камери та положення об'єкта.

В кінці дані передаються системі, яка вирішує про безпечність відстані між транспортними засобами.

На основі даного алгоритму розроблено програмні коди на мові програмування Python. Обчислення можуть виконуватися за допомогою однієї або двох камер. Формули для яких було розраховано в другому розділі.

Спочатку було написано код з використанням однієї камери. Для цього були перейменовані змінні для зручності написання коду, які вказано в таблиці 4.1.

Кроки дії коду визначення відстані між транспортними засобами, за допомогою однієї камери, розпочинаються зі зчитування кадру з відео. Далі отримується розмір зображення, а саме висота та ширина зображення за допомогою функції `shape` з бібліотеки `OpenCV`.

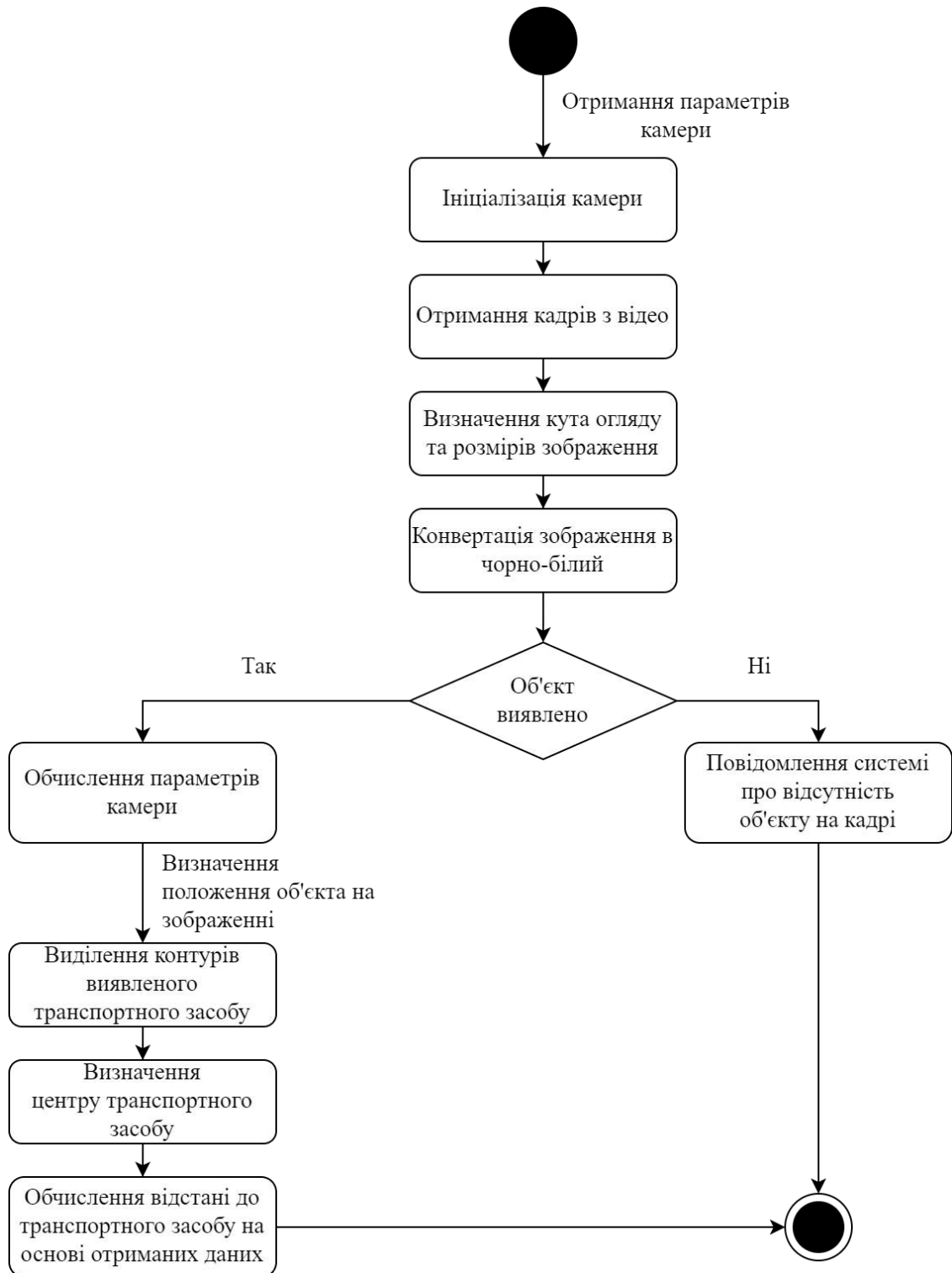


Рисунок 4.1 – Діаграма станів алгоритму визначення безпечної відстані

Також визначаються параметри камери. Це включає висоту камери над рівнем дороги (H), кут нахилу камери (γ_{camera}) та кут поля зору камери (β).

Наступним кроком було визначення параметрів зображення. Отримано висоту площини записаного зображення (h_{image}) та відстань від нижньої сторони виявленого транспортного засобу до низу площини зображення ($d_{\text{b_car}}$). Ці значення можна отримати за допомогою попередньої обробки зображень. І в кінці слід обчислити відстань до автомобіля попереду. Формулу було попередньо розраховано в другому розділі.

Таблиця 4.1 – Зміни назв змінних для алгоритму з однією камерою

Змінні		Значення	Статус
Формула	Код		
$\text{distance}_{\text{object}}$	<code>distance_object</code>	Відстань від автомобіля, де розміщена камера, до автомобіля попереду.	Невідома
H_{camera}	<code>H_camera</code>	Висота камери над рівнем дороги.	Відома
γ_{camera}	<code>gama_camera</code>	Кут нахилу камери.	Відома
β	<code>betta_</code>	Кут поля зору камери.	Відома
h_{image}	<code>h_image</code>	Висота площини записаного зображення в пікселях.	Відомо
$d_{\text{b_car}}$	<code>d_bcar</code>	Відстань від нижньої сторони виявленого транспортного засобу до низу площини зображення в пікселях.	Невідомо

Для подальшого порівняння результатів було розроблено код для використання двох камер. Відповідно до формули визначення відстані між

транспортними засобами було призначено імена змінним, які показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зміни назв змінних для алгоритму з двома камерами

Змінні		Значення	Статус
Формула	Код		
Lane	Lane	відстань між двома камерами	Відомо
distance	distance	відстань до автомобіля попереду	Невідомо
φ_{left}	phi_left	кути огляду двох камер відповідно	Відомо
φ_{right}	phi_right		Відомо
C_{left}	C_left	кількість горизонтальних пікселів двох камер відповідно	Відомо
C_{right}	C_right		Відомо
O_{left}	O_left	відстань у пікселях між центром об'єкта та початком області перекриття для кожної камери відповідно	Невідомо
O_{right}	O_right		Невідомо

Спочатку відбувається отримання параметрів камери (`get_camera_parameters`). Функція `get_camera_parameters` приймає один аргумент `camera_index`, який вказує на індекс камери. Використовуючи бібліотеку `OpenCV` (`'cv2'`), створюється об'єкт камери за допомогою `cv2.VideoCapture(camera_index)`. За допомогою методу `read()` отримується кадр з потоку камери. З отриманого кадру визначаються його висота, ширина та кількість каналів кольору. Значення кута огляду `fov` встановлюється як 62.2 градуса. Дані значення взято за документації `NoIR Raspi CAM v2`. Повертаються значення кута огляду та ширини зображення.

Далі відбувається визначення положення об'єкта на зображенні (`get_object_position`). Функція `get_object_position` приймає один аргумент `image`,

який є кадром з камери. Кадр перетворюється в чорно-білий шляхом конвертації відтінків сірого за допомогою `cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)`. Застосовується порогове значення для виділення контурів об'єкта за допомогою `cv2.threshold`. Знаходяться контури за допомогою `cv2.findContours`. Якщо контури знайдено, то обирається найбільший контур (найбільша за площею область). Обчислюється центр мас контуру (`cx`) за допомогою моментів області. Повертається координата центру об'єкта на зображенні або `None`, якщо об'єкт не знайдено.

Наступним кроком є обчислення значень параметрів. Отримуються значення параметрів для кожної камери: кут огляду об'єкта (ϕ), відстань від камери до об'єкта (C) та положення об'єкта на зображенні (O). Значення ϕ_{left} та ϕ_{right} обчислюються за допомогою формули $\phi = fov * object_position / width$, де fov – кут огляду камери, $object_position$ – положення об'єкта на зображенні, а $width$ – ширина зображення.

Далі відбувається визначення відстані (`calculate_distance`). Обчислюється відстань до об'єкта за допомогою функції `calculate_distance`. У формулі використовуються розраховані параметри ϕ_{left} , ϕ_{right} , C_{left} , C_{right} , O_{left} , O_{right} та відома відстань між камерами `Lane`. Результат обчислення повертається як відстань до об'єкта.

Отже, цей код використовує дві камери для визначення положення об'єкта на зображенні та обчислення відстані до нього на основі геометричних відносин та параметрів камер.

Робота з двома камерами може стикатися з різними проблемами, які варто уважно розглянути для досягнення найкращих результатів. По-перше, виникає проблема того, що об'єкт може бути розпізнаний лише однією з камер. Якщо одна камера успішно розпізнає об'єкт, а інша ні, виникають труднощі у визначенні його відстані та положення. Це може призвести до неточностей у вимірюваннях відстані до об'єкта.

По-друге, може виникнути ситуація, коли на кадрах кожної камери зображені різні об'єкти. Це призведе до неправильних обчислень параметрів та відстані.

Недоліки в цьому можуть перешкодити точному визначенню відстані до цільового об'єкта.

По-третє, ускладнення виникає внаслідок присутності на кадрі кількох об'єктів. Якщо камери зафіксували декілька об'єктів, алгоритм може знайти лише один ігор або знайти їх усіх, що ускладнює обчислення. Важливо точно визначити, який саме об'єкт слід враховувати при розрахунках.

Для вирішення цих проблем можна використовувати додаткові методи обробки зображень, фільтрацію даних або алгоритми визначення об'єктів, які враховують ці сценарії та забезпечують стабільні результати. Також важливо проводити тестування системи на різних умовах та враховувати можливі помилки в роботі алгоритму, щоб забезпечити його ефективну роботу у реальних умовах.

Можливі шляхи вирішення проблем, що виникають при роботі з двома камерами, можна розглянути детальніше. Один із способів вирішення проблеми розпізнавання об'єктів за допомогою однієї камери - використання алгоритмів компенсації або кореляції між образами, отриманими з обох камер. Це включає використання методів стереозору для визначення глибини та положення об'єктів. Додатково, можна застосувати алгоритми обробки зображень для покращення розпізнавання об'єктів на зображеннях з низькою якістю або різним освітленням.

Щодо проблеми різних об'єктів на кадрах камери, можна використати алгоритм відслідковування об'єктів, що дозволяє визначати, які об'єкти належать до одного і того ж об'єкта в реальному часі. Також можна впровадити алгоритми машинного навчання для відокремлення об'єктів на кадрах та їх класифікації, щоб забезпечити точне розпізнавання об'єктів.

Для проблеми з наявністю кількох об'єктів на кадрі можна використовувати алгоритми сегментації зображень, які дозволяють розділяти зображення на окремі області, що відповідають різним об'єктам. Також ефективним рішенням буде використання алгоритмів детекції об'єктів, які відокремлюють та ідентифікують кожен об'єкт на кадрі.

Ці зміни були внесені в код підсистеми. Крім того, для забезпечення стабільної роботи системи необхідно проводити тестування алгоритмів на різних умовах, включаючи різне освітлення, кути огляду та типи об'єктів.

4.2 Діаграма станів всієї підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями

На рисунках 4.2 зображено діаграму станів функціонування всієї підсистеми. Спочатку система проходить ініціалізацію. На Raspberry Pi 3 запускається програмне забезпечення, і відбувається ініціалізація камери, дисплею та інших пристроїв.

Після цього проводиться перевірка камери та дисплею. Якщо дисплей виявлено, процес продовжується. У випадку помилки виводиться повідомлення про несправність, після чого проводиться повторна перевірка. Аналогічно перевіряється роботоздатність камери.

Після успішної перевірки, налаштовуються параметри камери та дисплею. Далі відбувається захоплення відео, після чого кадри піддаються оптимізації для поліпшення якості зображення. Це спрощує подальший аналіз. Застосовується попередньо навчена модель для виявлення автомобілів. Якщо автомобіль не виявлено, система передає відповідне повідомлення.

У разі виявлення автомобіля, система виділяє області, що містять автомобілі, та визначає їх параметри.

Потім оцінюється відстань між автомобілями, перевіряючи її на відповідність стандартам безпеки. Якщо відстань безпечна, відправляється повідомлення про безпеку; в іншому випадку – про небезпеку.

Наприкінці, система встановлює з'єднання для передачі оброблених даних. Інформація відображається на дисплеї. У випадку небезпечної ситуації відтворюється звуковий сигнал, а на дисплеї відображається візуальне попередження для водія. Далі здійснюється обробка наступних кадрів з відеокамери.

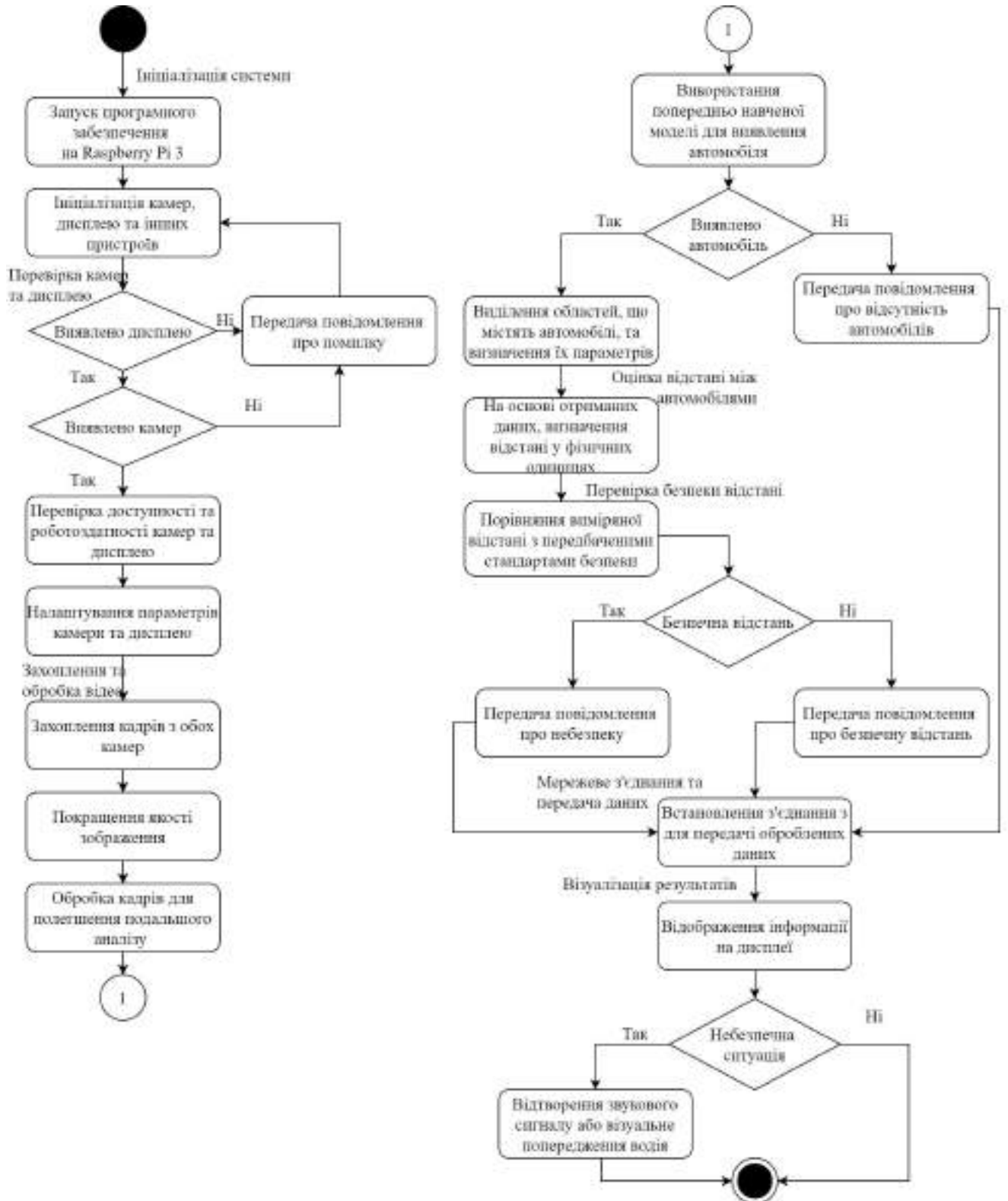


Рисунок 4.2 – Діаграма станів функціонування системи

4.2.1 Підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry Pi

Для забезпечення оптимального функціонування підсистеми визначення відстані між автомобілями необхідно мати потужний процесор, який здатний ефективно обробляти великий обсяг даних. З цією метою був обраний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3 Model B+.

Вибір камери було здійснено в першому розділі. Він також є ключовим елементом, тому для цієї системи було обрано камеру NoIR Raspi CAM v2, яка ідеально підходить для зйомки простору перед автомобілем в різних умовах освітлення.

На рисунку 4.3 наведено схему з'єднання зовнішніх елементів підсистеми з двома камерами, що дозволяє краще зрозуміти, як вони інтегруються з мікрокомп'ютером Raspberry Pi та взаємодіють між собою.

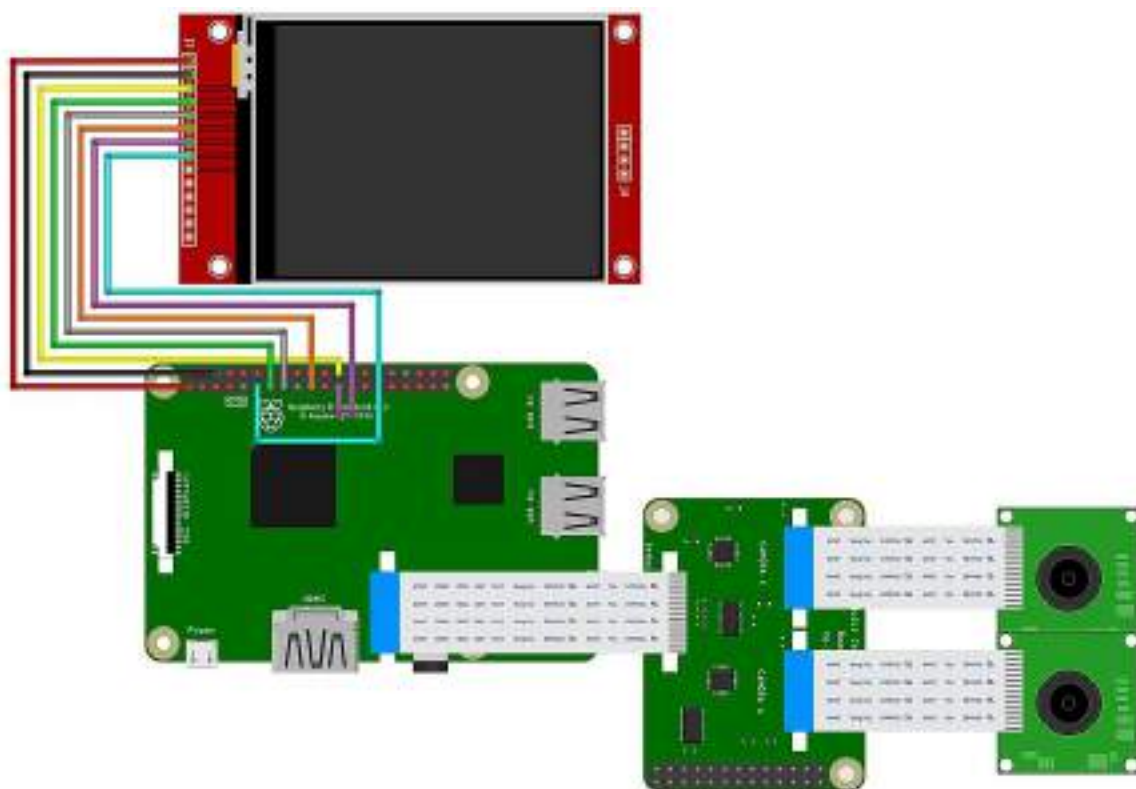


Рисунок 4.3 – Підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry Pi

У першому варіанті роботи системи, що використовує лише одну камеру, процес зведення даних до значень відстані відбувається без використання модуля Raspberry Pi Camera Module V2.2. Це спрощує конфігурацію та встановлення системи.

У випадку з двома камерами, вони підключаються до мінікомп'ютера Raspberry Pi за допомогою спеціального модуля для підключення кількох камер. Це дозволяє підсистемі отримувати дані від кожної камери окремо.

Також невід'ємною частиною системи є сенсорний дисплей. Це дозволяє користувачу взаємодіяти з системою за допомогою графічного інтерфейсу. Розпинівку сенсорного дисплею та Raspberry Pi показано в таблиці 4.1.

Для кращого розуміння схеми підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry Pi було створено діаграму розгортання. Вона відображає структуру підсистеми для визначення безпечної відстані до наступного транспортного засобу (рисунок 4.4). Центральним елементом цієї підсистеми є міні-комп'ютер Raspberry Pi 3 Model B+. До нього підключений сенсорний LCD екран через відповідні кабелі для візуалізації даних та взаємодії з користувачем.

Таблиця 4.1 – Розпінювання сенсорного дисплею та Raspberry Pi

Піни дисплею	Функції	Піни GPIO	Піни Raspberry Pi	Колір кабелю
1	VCC 3,3 В	1	N/A	Червоний
2	GND	6	N/A	Чорний
3	CS	24	8 (CE0)	Жовтий
4	RST	13	27	Зелений
5	CD	15	22	Сірий
6	SPI MOSI	19	10 (MOSI)	Оранжевий
7	CLK	23	11 (SLK)	Фіолетовий
8	LED	11	17	Блакитний

Дві камери - ліва та права, ідентичні моделі NoIR Raspi CAM v2 – об'єднуються в стерео-камеру. Ці стерео-камери підключені до модуля для підключення кількох камер Raspberry Pi Camera Module V2.2 за допомогою кабелю FPC. Цей модуль дозволяє підключати стерео-камери до міні-комп'ютера за допомогою кабелю FPC, забезпечуючи обробку відеоданих.

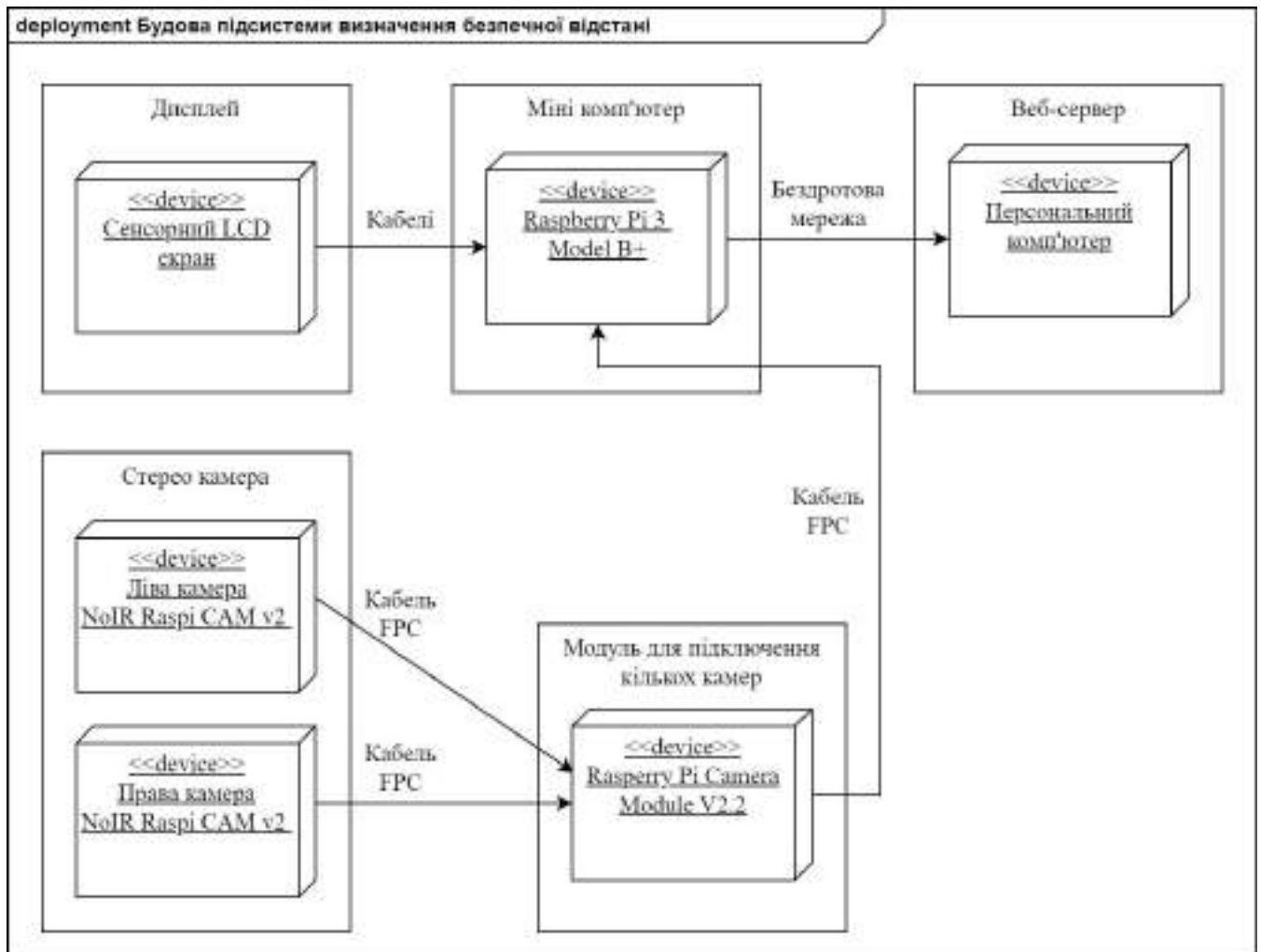


Рисунок 4.4 – Діаграма розгортання будови підсистеми

Міні-комп'ютер Raspberry Pi 3 Model B+ використовується для підтримки зв'язку з веб-сервером. Для цього він підключений до персонального комп'ютера через бездротову мережу Wi-Fi, що дозволяє передавати дані про безпечну відстань в реальному часі.

4.2.2 Діаграма пакетів

Діаграма пакетів передає дані між собою для обчислення відстані між автомобілями (рисунок 4.5).

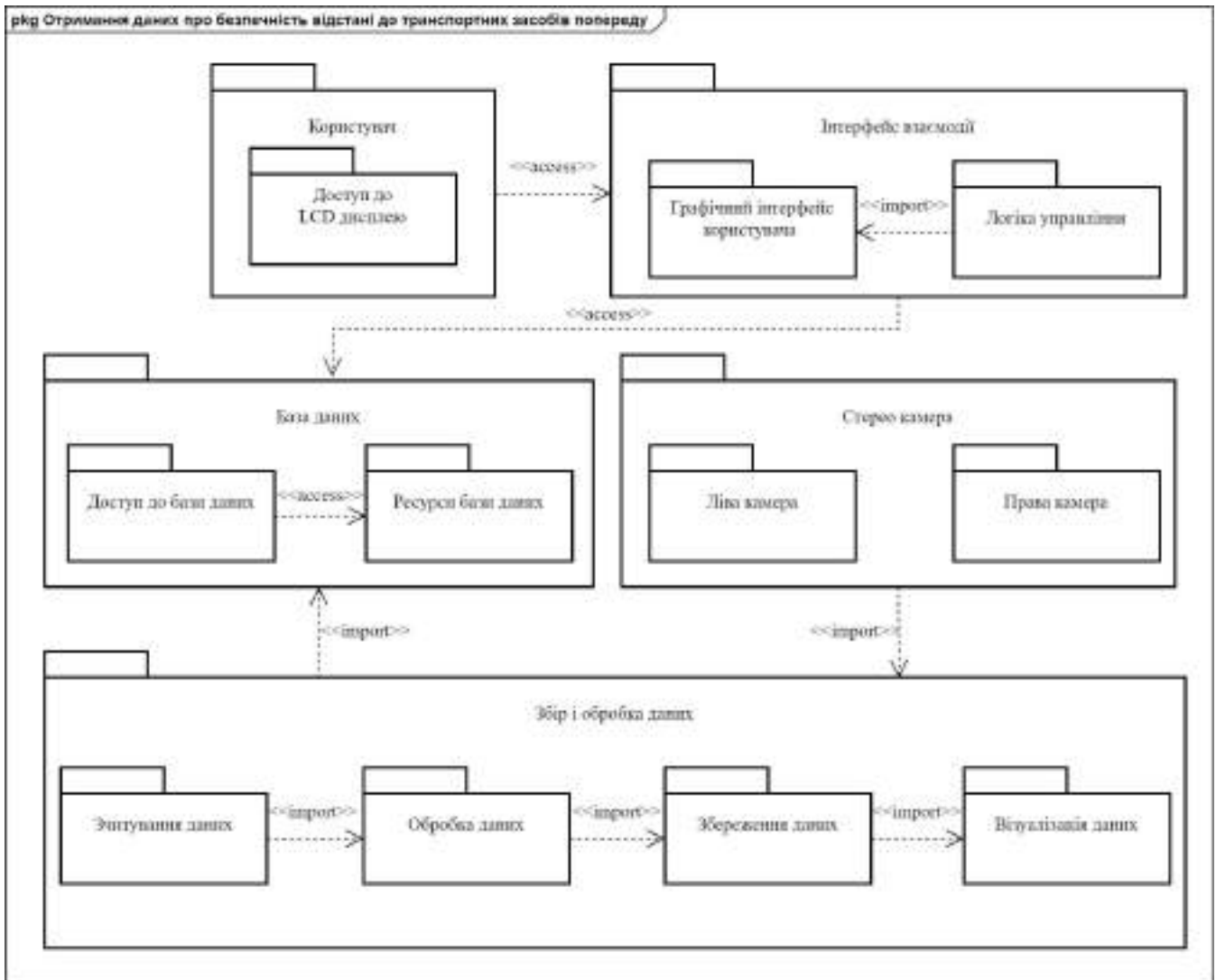


Рисунок 4.5 – Діаграма пакетів діяльності підсистеми

Користувач має доступ до LCD дисплею через інтерфейс взаємодії. Цей інтерфейс включає логіку управління, яка взаємодіє з графічним інтерфейсом користувача. Крім того, інтерфейс взаємодії забезпечує доступ до бази даних. База даних включає модуль доступу до неї, який взаємодіє з ресурсами бази даних.

Стерео камера складається з лівої та правої камер. Вона імпортує пакети даних в модуль збору та обробки даних.

Модуль збору та обробки даних включає в себе модуль зчитування даних, який передає дані на обробку. Обробка даних, у свою чергу, передає їх модулю збереження, а той, у свою чергу, імпортує їх у модуль візуалізації даних. Крім того, модуль збору та обробки даних взаємодіє з базою даних.

4.2.3 Діаграма прецедентів

Діаграма прецедентів ілюструє роботу підсистеми обчислення безпечної відстані в автомобільній системі (рисунок 4.6).

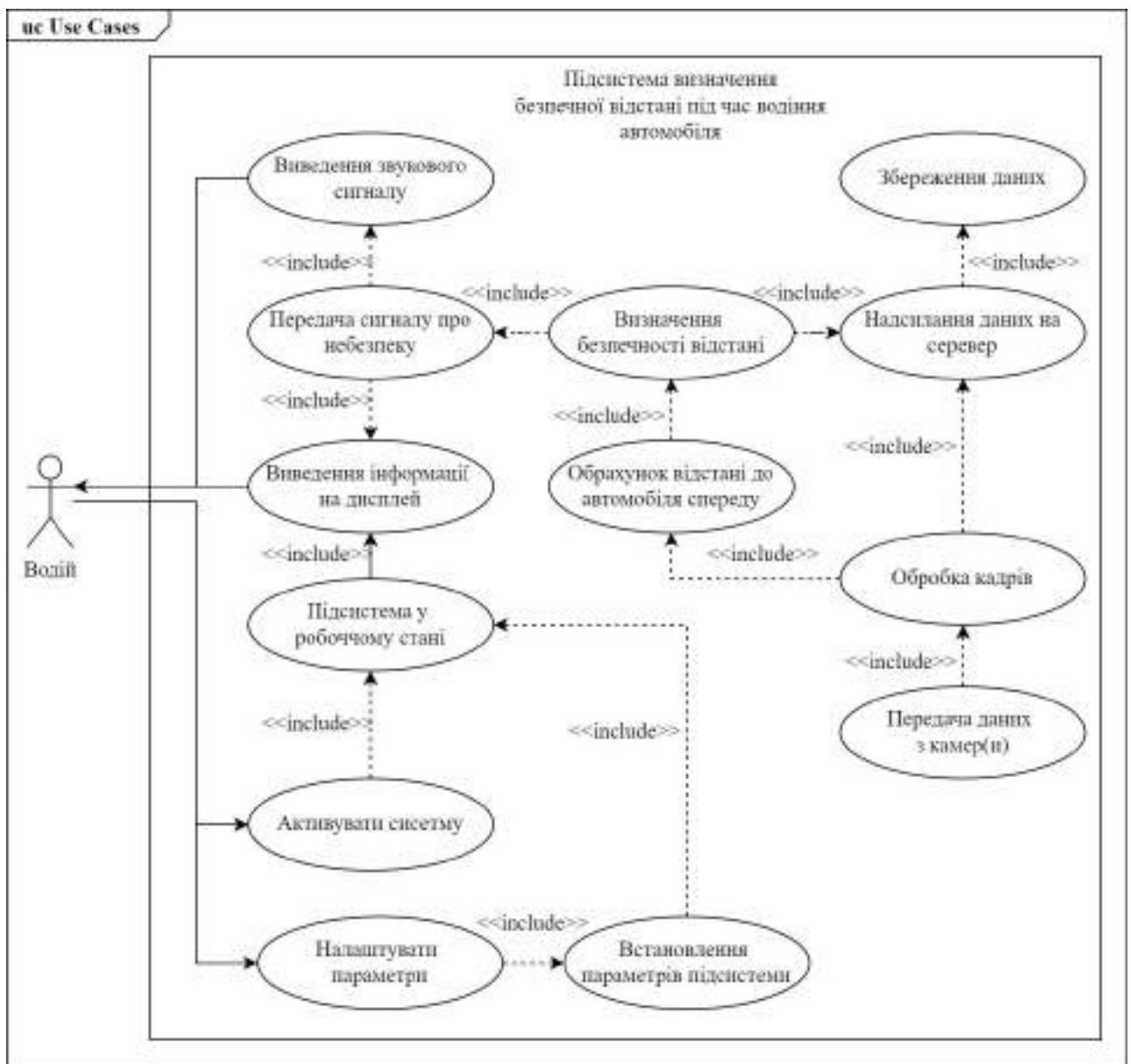


Рисунок 4.6 – Діаграма прецедентів функціонування підсистеми

Коли водій активує систему, вона встановлює зв'язок з підсистемою обчислення безпечної відстані, і остання переходить у робочий режим. Після цього на дисплеї автомобіля виводиться інформація щодо поточної відстані до автомобіля спереду та безпечної відстані, розрахованої на основі налаштованих параметрів.

Крім того, водій може в будь-який момент налаштувати параметри підсистеми, вказавши, наприклад, мінімальну безпечну відстань або чутливість системи. Після встановлення нових параметрів підсистема продовжує свою роботу, ураховуючи оновлені налаштування, і інформація про безпечну відстань знову виводиться на дисплей.

Під час роботи системи відеокадри з камер передаються на обчислювальний модуль, де проводиться їх обробка. Після обробки визначається відстань до автомобіля спереду та ризик зіткнення. Отримані дані разом з обробленими кадрами надсилаються на сервер для подальшого збереження.

У разі виявлення небезпеки, наприклад, коли відстань до автомобіля спереду стає меншою за мінімально допустиму, система спрацьовує. Вона виводить відповідне попередження на дисплей автомобіля та активує звуковий сигнал, щоб звернути увагу водія на потенційну небезпеку.

4.3 Проведення тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями

Метою даного дослідження є тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями за допомогою комп'ютерного зору. Основними завданнями є ідентифікація можливих недоліків у програмному коді підсистеми з метою подальшого вдосконалення та визначення оптимального формату зображення для безпомилкового та швидкого ідентифікування автомобіля.

На даний момент система перебуває на етапі розробки, і її повна архітектура ще не зібрана з усіма компонентами, описаними у попередніх підрозділах. У рамках даної перевірки буде проводитися лише тестування ефективності самого коду.

Тестування визначення автомобіля на зображенні передбачає використання зразків фотографій, знайдених в Інтернеті, а також зображень, створених штучним інтелектом. Цей підхід передбачає аналіз точності та швидкості роботи алгоритмів на різних тестових наборах. Крім того, можливе використання методів обробки зображень, таких як фільтри та удосконалення контрастності, для покращення якості виявлення автомобілів та зниження кількості помилок.

Тестування визначення автомобіля на відео передбачає аналіз відеоматеріалів з різних джерел для виявлення автомобілів у відеоформаті. Цей етап спрямований на оцінку ефективності алгоритмів на відеоданих та порівняння їх результатів з тестовими даними. Під час аналізу буде враховуватися якість відеоматеріалів, їх роздільна здатність, кут огляду та швидкість кадрів.

Тестування визначення відстані між автомобілями під час моделювання ситуації передбачає створення сценаріїв у середовищі моделювання, такому як Unity. Це дозволяє імітувати різні дорожні умови, такі як різні швидкості, розміри та рух автомобілів, і оцінювати точність визначення відстані між автомобілями в цих умовах.

Тестування визначення відстані між автомобілями з використанням відеоматеріалів з реальних дорожніх ситуацій допомагає оцінити точність та надійність підсистеми на реальних даних, що відображають різноманітні умови руху на дорозі. Під час цього етапу буде звертатися увага на різноманітність умов дорожнього руху, включаючи різні погодні умови, освітлення та швидкості руху автомобілів.

4.3.1 Тестування визначення автомобіля на зображенні

Перше тестування спрямоване на перевірку точності розпізнавання транспортних засобів на зображеннях. Для цього використовувався різноманітний набір даних, включаючи фотографії автомобілів, які були згенеровані штучними нейронними мережами, а також де їх немає. Наприклад, на рисунку 4.7 показано

процес ідентифікації транспортних засобів за допомогою програмного забезпечення, що тестується.



Рисунок 4.7 – Визначення автомобілів на фото

У першій частині експерименту досліджувався вплив розміру зображення на час його розпізнавання та точність ідентифікації. Було розпочато з великих зображень розміром 1920 на 1080 пікселів, оскільки це максимальний розмір, який може забезпечити обрана камера NoIR Raspi CAM v2 для зйомки відео. Мінімальне допустиме розширення обраної камери — 640 на 480 пікселів (співвідношення сторін 4:3), тому це значення було взято як найменше допустиме. Також було взято більші розміри для порівняння даних, включаючи максимальне розширення 3840x2160 пікселів. Таким чином, набір зображень для тестування включав зображення різних розширень: 3840x2160, 2560x1440, 1920x1080, 1600x900, 1440x1080, 1366x768, 1280x720, 1024x768, 800x600, 640x480.

Було проаналізовано вплив розміру зображення на результати розпізнавання та чи відбувається втрата точності при зменшенні розміру.

Спочатку перевірялося розпізнавання зображень з одним автомобілем, щоб оцінити ефективність програми в такому контексті. Пізніше було розширено рамки експерименту, проведено аналіз зображень з різними кількостями автомобілів для визначення впливу цього чинника на точність ідентифікації.

Крім того, фотографії для розпізнавання покращувалися за допомогою різноманітних технік обробки зображень, що надали важливі дані для подальшого аналізу та вдосконалення програми.

Також було проведено тестування на зображеннях, де взагалі не було автомобілів, щоб перевірити час ідентифікації та виявити, чи позначає програма зайві об'єкти.

Отже, було встановлено, що існує оптимальний формат зображення, який значно впливає на точність розпізнавання, підкреслюючи важливість обробки зображень для досягнення найкращих результатів. Даний розмір зображення є 1600 на 900 пікселів, про що свідчать результати експерименту зображені на рисунку 4.8.

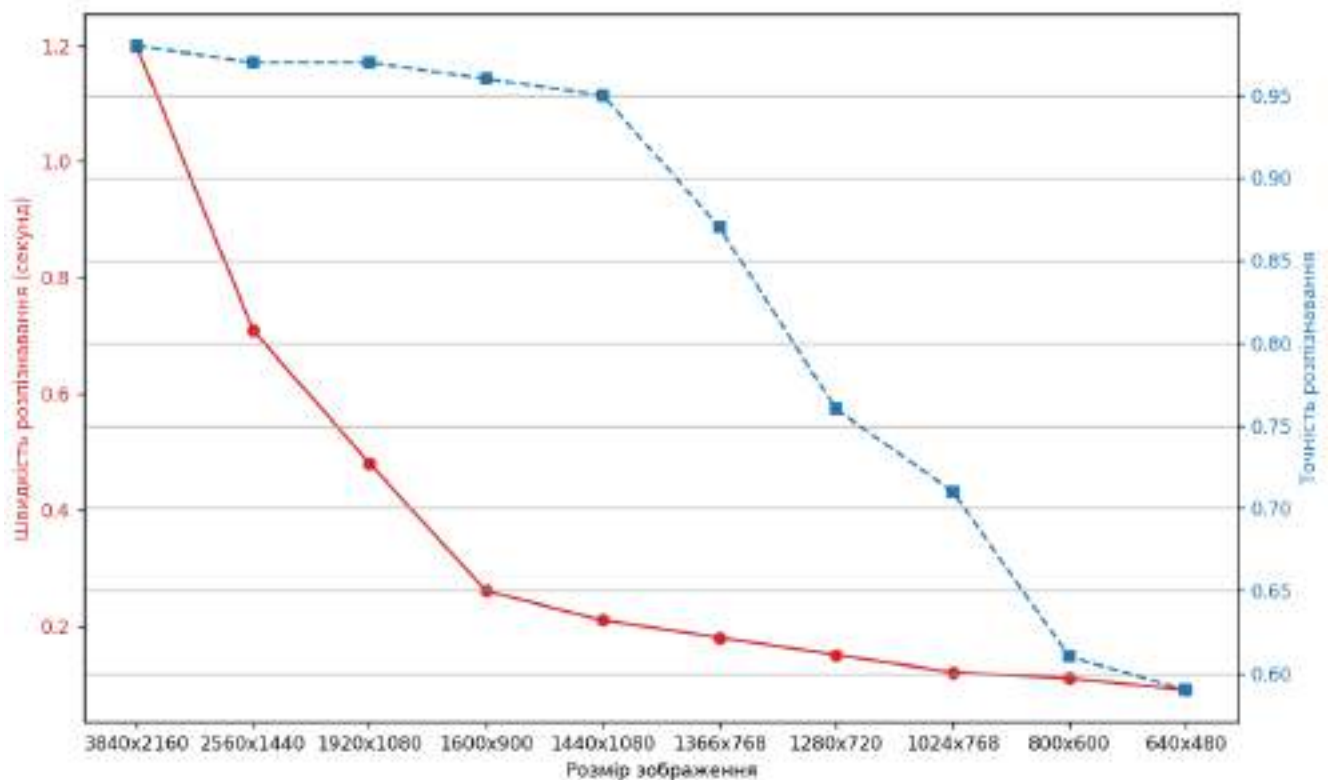


Рисунок 4.8 – Результати тестування залежності розмірів зображення до швидкості та точності розпізнавання

Також для підсистеми оптимальним варіантом може бути 1440x1080, але все залежить від вибору камери. Для даної підсистеми було обрано NoIR Raspi CAM

v2, тому краще обрати роздільну здатність зі співвідношенням сторін 16:9. Тому у підсумку, з параметрами 1600x900 було проведено наступне тестування, розширивши обсяг зображень для подальшого аналізу.

На наступному етапі тестування було звернено увагу на зображення з одним транспортним засобом. У цьому випадку точність розпізнавання склала 86%: зі 100 зображень з автомобілями було ідентифіковано правильно 86 зображень. Тестові дані включали фотографії з різними погодними умовами та часом доби, а час розпізнавання був приблизно однаковим.

Складнощі ідентифікації автомобілів було виявлено в темний час доби. Саме тому було прийнято рішення встановити додатковий фільтр на затемненні зображення. В такому випадку відбувається підвищення яскравості та контрастності зображення.

Після проведення ще одного тестування з тим самим тестовим набором результати уже показали точність 96%, що становить 96 правильно визначених зображень зі 100.

Крім того, було проведено тестування на зображеннях з двома або більше автомобілями, щоб оцінити ефективність програми в умовах збільшеної складності. Під час експериментів порівнювався загальний час, який включав ідентифікацію транспортного засобу та його класифікацію для різних варіантів зображень.

Дане тестування показало також результативність, а саме 89% точності. У даному випадку виникли проблеми з дуже маленькими об'єктами та нічним часом доби. Але з основним завдання визначення автомобілів перед транспортним засобом власника підсистема. Адже все-таки більша пріоритетність підсистеми має акцентуватися на автомобілі які несуть потенційну загрозу, а саме розміщенні ближче до дослідного об'єкта.

Даний етап тестування успішно завершено, і отримані результати свідчать про високу точність ідентифікації. Однак для досягнення цієї точності необхідно покращення якості зображення перед процесом розпізнавання транспортного засобу. Середній час проведення ідентифікації становить 0,23 секунди. Але досі є

складнощі під час розпізнавання автомобілів в темний час доби, тому для цього використовується спеціальний фільтр.

Після того було прийнято також протестувати розпізнавання за допомогою двох зображень. Адже планується обрати кращий варіант визначення безпечної відстані однієї або двома камерами (стереокамера). Тому наступне тестування полягає в тому щоб підсистема правильно ідентифікувала автомобіль на двох зображеннях. Отже, у даному випадку підсистема має провести порівняння та призначати відповідний номер одному транспортному засобу, кадрам з лівої та правої камери. Також планується перевірити швидкість здійснення ідентифікації автомобілів та призначення відповідного номеру.

Перевірка здійснювалася з використанням розміру зображення 1600 на 900 пікселів та попередньої обробки зображення для покращення, в перевагах яких було переконано на попередніх етапах.

В результаті експерименту, було переконано в ефективності застосування даної програми для ідентифікації зображення. Зі 100 зображень були правильно розпізнанні 87 тестових зразка було розпізнано, отже можна зробити висновок що точність складає 87%. Проблеми виникли на етапі індексування автомобілів, адже для визначення відстані у цьому тесті використовувалося дві камери.

У деяких випадках помилки виникали через те що, наприклад, на лівому зображенні було видно транспортний засіб, а на правому кадрі він був не визначений або взагалі був закритий іншим об'єктом. Але проаналізувавши помилкові зображення, можна зробити висновок, що дані похибки визначення не впливають на безпеку на дорозі.

4.3.2 Тестування визначення автомобіля на відео

На попередньому етапі було виявлено, що оптимальним розміром зображення для ефективного розпізнавання транспортних засобів є 1600 на 900 пікселів. З цієї причини цей формат буде використовуватися під час наступного тестування системи ідентифікації автомобілів на відео.

Під час проведеного експерименту аналізувалися відеозаписи з різними погодними умовами та різними часами доби, які були взяті з відеоплатформи YouTube. Відзначимо, що на даних відео не завжди був присутній лише один транспортний засіб, що ускладнює процес розпізнавання. Основною метою було точно визначити момент, коли програма розпізнає автомобілі перед транспортними засобами, щоб у подальшому мати можливість визначати відстань між ними.

Для оцінки точності програмного коду використовувалися такі параметри, як швидкість розпізнавання на кожному кадрі та безпомилковість. На наступному етапі було проведено покращення якості зображення, зокрема, збільшено контрастність. Після цього покращення експеримент був повторений.

За результатами можна зробити висновок, що завдяки оптимізації кадрів, переданих у відео, підвищується точність їх розпізнавання. Без оптимізації точність розпізнавання становила 85%, що становила 273 кадри із 320. Після впровадження покращень ця цифра зросла до 94%, а саме 300 кадрів із 320 у відеопотоці, було визначено правильно.

Для порівняння функціоналу двох камер використовувалися тестові дані, отримані за допомогою стереокамери. З урахуванням складнощів отримання відео був використаний набір даних DSECP для сценаріїв водіння, що включає дані з двох монохромних та двох кольорових камер із глобальним затвором в умовах як сприятливого, так і складного освітлення. Для цього тестування було використано лише відео з кольорових камер FLIR BlackFly S USB3. Роздільна здатність зображення становить 1440×1080 [85].

Результати цього експерименту наведено на рисунку 4.9. У підсумку було отримано точність розпізнавання та нумерування відповідного автомобіля на обох зображеннях – 81% (260 кадрів з 320). Похибки визначення знов таки виникли під час неправильному нумеруванні знайдених транспортних засобів, а також присутність одного об'єкта лише на кадрі з однієї лише камери. Проаналізувавши наступні помилки, було прийнято до висновку те, що дані похибки не вплинуть на безпеку автомобіля в майбутньому.

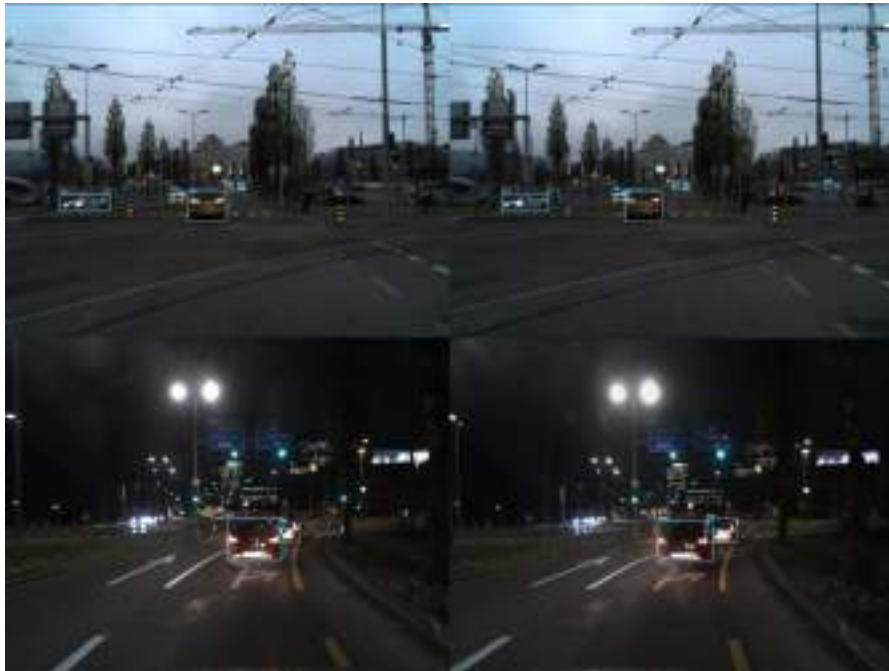


Рисунок 4.9 – Результати тестування розпізнавання автомобілів на відеоматеріалах, отриманих за допомогою стереокамери

4.3.3 Тестування визначення відстані між автомобілями під час моделювання ситуації

Для тестування визначення безпечної відстані було використано програмне забезпечення Unity, для моделювання відповідних ситуацій.

Під час експерименту було розміщено два автомобіля на певній дистанції, а саме автомобіль на якому розміщено камери та транспортний засіб, який потенційно може нести загрозу (створення ДТП).

Камери розміщено на висоті 1,2 метри від дороги, а саме закріплено на внутрішнє дзеркало заднього виду. Кут огляду камери становить 60 градусів. Роздільна здатність зображення було встановлено 1920 на 1080 пікселів, згідно попередніх тестувань.

На даному етапі буде проведено також тестування підсистеми з двома камерами. Для цього камери з аналогічними параметрами, як попередня було розміщено на внутрішньому дзеркалі заднього виду, на відстані 20 сантиметрів одна від одної.

В результаті було отримано наступні кадри з камер, що продемонстровані на рисунку 4.10.

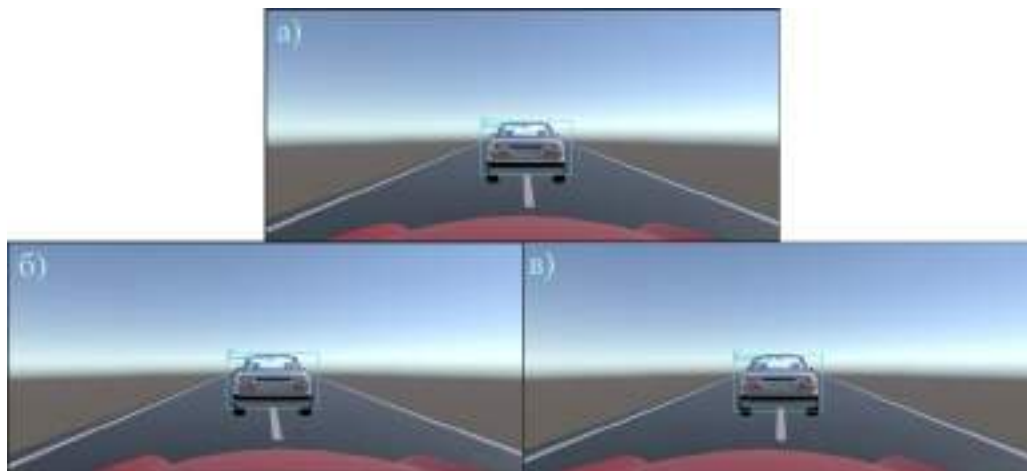


Рисунок 4.10 – Результати моделювання в Unity, кадр з:
а) центральної камери; б) лівої камери; в) правої камери

У даному дослідженні проведено оцінку точності двох різних підсистем з камерами (підсистеми з однією камерою та підсистеми з двома камерами) у вимірюванні реальних відстаней. Для цього було проведено експерименти, під час яких виміряні відстані порівнювалися з реальними значеннями. В таблиці 4.3 продемонстровано фінальні дані обчислення 10-ти проведених тестувань. Результати порівнянь були використані для розрахунку стандартного відхилення (СКВ) та середньої абсолютної похибки (САП) для обох підсистем.

Для підсистеми з однією камерою СКВ було визначено приблизно 0.26, а САП приблизно 0.31. А для підсистема з двома камерами СКВ було встановлено приблизно 0.15, а САП приблизно 0.18.

Результати дослідження показують, що підсистема з двома камерами має значно менше стандартне відхилення та середню абсолютну похибку порівняно з підсистемою з однією камерою. Це свідчить про те, що підсистема з двома камерами є більш точною у вимірюванні реальних відстаней. Такі високі показники точності роблять підсистему з двома камерами більш привабливою для застосування у ситуаціях, де потрібна висока точність вимірювань. Однак обидва

методи можуть бути корисними в різних ситуаціях, в залежності від конкретних потреб та обмежень.

Таблиця 4.3 – Результати вимірювання відстані між двома автомобілями

Реальна відстань (м)	2,5	3	5,1	7,2	8	9,4	13	15,3	18,4	20
Підсистема з однією камерою (м)	2,57	3,52	5,11	6,91	8,42	9,41	13,54	15,15	18,11	20,05
Підсистема з двома камерами (м)	2,38	3,10	5,18	7,32	8,20	9,23	12,55	15,42	18,38	19,92

4.3.4 Тестування визначення відстані між автомобілями на відео

На кінцевому етапі було проведено тестування визначення відстані між транспортними засобами на відео. На даному етапі важко перевірити чи програма точно визначає відстань між автомобілями, адже відео для експерименту було взято набір даних DSECP двох кольорових камер.

Для створення даного тестового набору було використано камери FLIR BlackFly S USB3 RGB. Кут огляду камер становить 60 градусів. Роздільна здатність 1440×1080. Відстань між камерами складає близько 4.5 сантиметрів з кожного боку, відповідно загальна відстань між ними становить 9 см [85].

Але візуально можна перевірити чи програма може погіршити ситуацію на дорозі чи ні. Також можна перевірити помилковість системи, адже якщо підсистема допустить похибки то візуально об'єкт, який знаходиться далеко для неї буде близько або навпаки, що може призвести в реальності до ДТП. Саме тому для уникнення таких ситуацій було проведено тестування.

Дане тестування продемонструвало надійність підсистеми. Адже був постійний контроль відслідковування безпечної відстані між транспортними засобами. Навіть незначні похибки підсистеми у вимірюваннях майже не впливають на рівень безпеки на дорозі.

4.4 Висновки

У цьому розділі представлено роботу підсистеми за допомогою діаграм, таких як діаграма станів алгоритму визначення безпечної відстані, діаграма загального функціонування підсистеми, діаграма розгортання будови підсистеми, діаграма пакетів діяльності та діаграма прецедентів функціонування підсистеми. Для подальшої роботи підсистеми було розроблено схему підключення зовнішніх пристроїв до Raspberry Pi, архітектуру майбутньої підсистеми.

Також було проведено різні тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями за допомогою комп'ютерного зору, зокрема точність розпізнавання транспортних засобів та визначення відстані між ними.

Тестування зображень та відео з однією камерою показало, що оптимізація кадрів підвищує точність розпізнавання до 94%, значно перевищуючи початкову точність 85%. Використання двох камер також покращує точність вимірювання відстані між автомобілями, забезпечуючи 81% точності виявлення та нумерації транспортних засобів.

Моделювання ситуації на дорозі за допомогою програмного забезпечення Unity підтвердило перевагу підсистеми з двома камерами над підсистемою з однією камерою через нижче стандартне відхилення та середню абсолютну похибку. Це робить підсистему з двома камерами привабливою для використання у майбутньому під час водіння, що потребує високої точності вимірювань.

Загалом, підсистема показала свою надійність і здатність забезпечувати безпечну відстань між автомобілями. Похибки під час тестувань були несуттєвими та в теорії не мають впливати на безпеку на дорозі, що вказує на перспективність подальшого використання цієї системи в майбутньому на практиці.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних і практичних досліджень було розроблено програмне забезпечення для визначення безпечної відстані між транспортними засобами. Підсистема містить модуль виявлення об'єктів на дорозі та механізм контролю безпечної відстані, що допомагає виявляти ризики та попереджувати водіїв про небезпечну відстань між транспортними засобами.

У першому розділі розглянуто різні підходи до вирішення проблеми впровадження підсистеми визначення безпечної відстані під час керування автомобілем за допомогою комп'ютерного зору в системі попередження ДТП. Проаналізовано переваги та недоліки запропонованих методів, а також оглянуто існуючі системи на ринку, що використовуються в різних марках автомобілів. Окремо розглянуто вибір веб-камери для вирішення задачі. Дослідження також включало розгляд часу реакції в різних умовах та вивчення проблем, пов'язаних з обчисленням безпечної відстані між транспортними засобами.

У другому розділі розглянуто методи визначення відстані з використанням даних від однієї або двох камер та застосування машинного навчання для ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми. Для визначення відстані за допомогою однієї камери розроблено формулу, яка враховує кілька параметрів камери, але може бути складною у розрахунках та залежною від початкових параметрів. Використання двох камер дозволяє підвищити точність вимірювання відстані завдяки порівнянню зображень з різних точок огляду, проте потребує складного налаштування. Для ідентифікації транспортних засобів було досліджено методи машинного навчання, зокрема використання Гаар-подібних ознак та алгоритму AdaBoost, що забезпечує підвищену точність класифікації.

У третьому розділі проведено моделювання за допомогою Packet Tracer, яке сприяло візуальному розумінню роботи підсистеми та її внутрішніх складових для визначення безпечної відстані між автомобілями. Розроблено мікроскопічну модель дорожнього трафіку для оптимізації параметрів безпечної відстані. Експерименти показали, що збільшення безпечної відстані між транспортними

засобами, особливо на звивистих дорогах, може значно знизити ризик аварій. У результаті додаткових експериментів було майже повністю усунуто аварії, підтверджуючи ефективність прийнятих заходів.

У четвертому розділі розглянуто роботу підсистеми за допомогою діаграм, що відображають її загальне функціонування, алгоритми та архітектуру. Результати тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями продемонстрували її ефективність і надійність. Експериментальне дослідження під час моделювання ситуації на дорозі, за допомогою Unity, підтвердило перевагу технології з двома камерами, що має нижче стандартне відхилення та середню абсолютну похибку. Загалом, підсистема показала свою надійність та потенціал для забезпечення безпечної відстані між автомобілями.

Дане дослідження є кроком вперед для розвитку технологій визначення транспортних засобів та інших об'єктів за допомогою відеокамери, а також проведення обчислень визначення відстані між двома об'єктами, в цьому випадку автомобілями. Компоненти підсистеми можна ефективно інтегрувати в єдину систему попередження ДТП в майбутньому.

Впровадження результатів роботи дозволить підвищити рівень безпеки на дорогах та забезпечити водіїв своєчасними попередженнями про ризики та небезпечні відстані між автомобілями, що сприятиме зменшенню кількості аварій і покращенню ефективності дорожнього руху.

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано статті (додаток Б), включаючи публікацію в міжнародному виданні, “The 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2023)”, та статтю “Automated system for determining speed of cars ahead” у журналі “Computer systems and information technologies” у 2023. А також статті “Аналіз даних для підтримки автоматичного попередження водія для кіберфізичної системи запобігання аваріям” у журналі “Вісник Хмельницького національного університету” та “Автоматичне виявлення автомобільних порушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аваріям” у журналі “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” в 2024 році.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Novorushchenko T., Pavlova O., Binkovskyi, Y., Bilinska, A., Holovatiuk, A., Melnychuk, D. Road Accident Prevention System. *In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. 2023. Pp. 1-7.
2. Названо найчастіші причини ДТП в Україні: кількість аварій у 2021 році різко зросла. URL: <https://www.rbc.ua/ukr/styler/nazvany-samy-e-chastye-prichiny-dtp-ukraine-1627463985.html> (дата звернення: 10.03.2024).
3. В Україні різко збільшилася кількість ДТП із загиблими та травмованими. URL: <http://surl.li/stqbz> (дата звернення: 10.03.2024).
4. Hu X., Xu X., Xiao Y., Chen H., He S., Qin J., Heng P. A. SINet: A Scale-Insensitive Convolutional Neural Network for Fast Vehicle Detection. *In IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018. vol. 20, no. 3. Pp. 1010-1015.
5. Tabernik D., Skočaj D., Deep Learning for Large-Scale Traffic-Sign Detection and Recognition. *In IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2020. vol. 21. no. 4. Pp. 1427-1429.
6. Zaarane A., Slimani I., Al Okaishi, W., Atouf I. Hamdoun, Distance measurement system for autonreferenceomous vehicles using stereo camera. *Array*, 2020. Pp. 1-3.
7. Найсучасніші асистенти допомоги водію. URL: <https://www.skoda-auto.ua/models/octavia-a8/octavia> (дата звернення: 10.03.2024).
8. Kovac V., Kováčiková N., Turinska L. Development of Passenger Car Safety. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research*. 2023. vol. 13(2). Pp. 2-5.
9. Urquhart C., Bellekens X., Tachtatzis C., Atkinson R., Hindy H., Seeam A. Cyber-security internals of a skoda octavia vRS: A hands on approach. *IEEE Access*. 2019. Pp. 57-69.
10. Mík A. J., Bouchner B. P. Safety of crews of autonomous cars. *In 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP)*. 2020. Pp. 1-5.

11. Cholis Basjaruddin, N., Rakhman, E., & Adinugraha, F. Hardware simulation of lane keeping assist based on sensor fusion. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*. 2021. vol. 9(3). Pp. 192-193.
12. König, T., Paula D., Quaschner S., Schweiger H. G. Influence of Blind Spot Assistance Systems in Heavy Commercial Vehicles on Accident Reconstruction. *Sensors*, 2024. vol. 24(5), Pp. 15-17.
13. Distracted Driver Awareness: 7 Mercedes-Benz Features to Keep You Focused. URL: <https://www.fjmercedes.com/distracted-driver-awareness-7-mercedes-benz-features-to-keep-you-focused/> (дата звернення: 10.03.2024).
14. Répás J., Berek L. Security and Safety Systems on Modern Vehicles. In *Vehicle and Automotive Engineering*. 2022. Pp. 84-100.
15. Future of Driving. URL: https://www.tesla.com/tr_TR/autopilot (дата звернення: 10.03.2024).
16. Mit R., Zangvil Y., Katalan D. Analyzing tesla's level 2 autonomous driving system under different gnss spoofing scenarios and implementing connected services for authentication and reliability of gnss data. In *Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)*. 2020. Pp. 621-646.
17. Dodi A. E., Wahyudi A. H., Jatmiko N. W., Lailiyul M. F., Widada W. FPGA Displays Real-Time Video Camera on VGA Monitor. In *2022 11th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*. 2022. Pp. 129-132.
18. Модуль камери OV7670. URL: <http://surl.li/rkjaj> (дата звернення: 10.03.2024).
19. Камера (модуль OV7670) VGA Camera. URL: <https://diyshop.com.ua/ua/kamera-modul-ov7670-vga-camera> (дата звернення: 10.03.2024).
20. VGA камера OV7670. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ov7670-camera> (дата звернення: 10.03.2024).

21. Мініатюрна TTL UART NTSC відеокамера від Adafruit. URL: <http://surl.li/rkjeu> (дата звернення: 10.03.2024).
22. Mini TTL Serial JPEG Camera w/NTSC Video. URL: https://www.electromaker.io/shop/product/mini-ttl-serial-jpeg-camera-wntsc-video?srsltid=AfmBOooACB_PnueLUQMNWAq1Dw36O94-Swgqb3OBzLAvcz1t9DqYGSX72xg (дата звернення: 10.03.2024).
23. Swetha G. SP32 CAMERA. Intelligent Surveillance and Robotic Systems. 2023. Pp. 7-11.
24. ESP32-CAM AI-Thinker Pinout Guide: GPIOs Usage Explained. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout/> (дата звернення: 10.03.2024).
25. Модуль ESP32-CAM з камерою OV2640, WiFi/Bluetooth, AI-Thinker HW-818. URL: <https://mehanika.net.ua/product/modul-esp32-cam-z-kameroyu-ov2640-wifi-bluetooth-ai-thinker-hw-818/> (дата звернення: 10.03.2024).
26. ESP32S-CAM модуль HW-818. URL: <https://uamper.com/ESP32S-CAM-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C-HW-818?keyword=esp%20cam> (дата звернення: 10.03.2024).
27. LABISTS Raspberry Pi No-IR Camera Module V2 IR Sensitive Webcam RPI Camera Module Official IMX219 8-megapixel Sensor. URL: https://www.u-buy.com.ua/en/product/2M79X4I8-labists-raspberry-pi-no-ir-camera-module-v2-ir-sensitive-webcam-rpi-camera-module-official-imx219-8-?utm_source=website&utm_medium=homepage&utm_campaign=country_navigation_porup (дата звернення: 10.03.2024).
28. Raspberry Pi NOIR camera V2 (8MP, 1080P30, Sony Exmor IMX219). URL: <https://diylab.com.ua/p532649456-raspberry-noir-camera.html> (дата звернення: 10.03.2024).
29. Камера інфрачервона 8Мп RPi NoIR Camera V2. URL: <https://arduino.ua/prod1554-kamera-8mp-infrakrasnaya-dlya-raspberry-pi-v2-sony-original> (дата звернення: 10.03.2024).

30. Камера Raspberry Pi Camera Module 3 NoIR. URL: https://evo.net.ua/kamera-raspberry-pi-camera-module-3-noir/?gad_source=4&gclid=CjwKCAjwrlixBhBbEiwACEqDJZOInoFbwGaOmxxtizv80tm4dpEMsrmdNb66DkEP1Hwln8QejQh6SBoCOzYQAvD_BwE (дата звернення: 10.03.2024).
31. Hangan H., Agelin-Chaab M., Gultepe I., Elfstrom G., & Komar J. Weather aerodynamic adaptation for autonomous vehicles: A tentative framework. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*. 2022. vol. 47(1). Pp. 175-184.
32. Elsaygher Mohamed S. A., Alshalfan K. A., Al-Hagery M. A., Ben Othman M. T. Safe driving distance and speed for collision avoidance in connected vehicles. *Sensors*. 2022. vol. 22(18). Pp. 7-9.
33. Нагребельна Л. П., Корчевська А. А., Кострульова Т. Є. Дотримання правил дорожнього руху в умовах воєнного стану. *In The XXXII International Scientific and Practical Conference «Science, modern trends and society»*. 2023. p. 169.
34. Drożdżiel P., Tarkowski S., Rybicka I., Wrona R. Drivers' reaction time research in the conditions in the real traffic. *Open Engineering*. 2020. vol. 10(1). Pp. 35-47.
35. Wood J. M. Nighttime driving: visual, lighting and visibility challenges. *Ophthalmic and physiological optics*. 2020. vol. 40(2). Pp. 187-190.
36. Ali Y., Sharma A., Haque M. M., Zheng Z., & Saifuzzaman M. The impact of the connected environment on driving behavior and safety: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*. 2020. vol. 144. Pp. 105-107.
37. Kahmen O., Rofallski R., Luhmann T. Impact of stereo camera calibration to object accuracy in multimedia photogrammetry. *Remote Sensing*. 2020 vol. 12(12). Pp. 20-23.
38. Li B., Chan P. H., Baris G., Higgins M. D., Donzella V. Analysis of automotive camera sensor noise factors and impact on object detection. *IEEE Sensors Journal*. 2022. vol. 22(22). Pp. 10-17.

39. Ponn T., Kröger T., Diermeyer F. Identification and explanation of challenging conditions for camera-based object detection of automated vehicles. *Sensors*. 2020. vol. 20(13). Pp. 36-37.
40. Srivastava S., Divekar A. V., Anilkumar C., Naik I., Kulkarni V., Pattabiraman, V. Comparative analysis of deep learning image detection algorithms. *Journal of Big data*. 2021. vol. 8(1). Pp. 66-68.
41. Zhang Y., Song C., Zhang D. Deep learning-based object detection improvement for tomato disease. *IEEE access*. 2020. Pp. 9-11.
42. Xiao K., Engstrom L., Ilyas A., Madry A. Noise or signal: The role of image backgrounds in object recognition. *arXiv preprint arXiv:2006.09994*. 2020. Pp. 2-5.
43. Liu Z., Cai Y., Wang H., Chen L., Gao H., Jia Y., Li Y. Robust target recognition and tracking of self-driving cars with radar and camera information fusion under severe weather conditions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021. vol, 23(7). Pp. 6640-6645.
44. Singh H., Kathuria A. Analyzing driver behavior under naturalistic driving conditions: A review. *Accident Analysis & Prevention*. 2021. Pp. 9-8.
45. Hu L., Ou J., Huang J., Chen Y., Cao D. A review of research on traffic conflicts based on intelligent vehicles. *Ieee Access*. 2020. vol. 8, 24471-24472.
46. Song L., Sun G., Yu H., Du X., Guizani M. Fbia: A fog-based identity authentication scheme for privacy preservation in internet of vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2020. vol. 69(5). Pp. 5403-5410.
47. Rasheed I., Hu F., Zhang L. Deep reinforcement learning approach for autonomous vehicle systems for maintaining security and safety using LSTM-GAN. *Vehicular Communications*. 2020. vol. 26. Pp. 66-67.
48. Masood A., Lakew D. S., Cho S. Security and privacy challenges in connected vehicular cloud computing. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2020. vol. 22(4). Pp. 2725-2734.
49. Lee Y. M., Madigan R., Giles O., Garach-Morcillo L., Markkula G., Fox C., Merat N. Road users rarely use explicit communication when interacting in

today's traffic: implications for automated vehicles. *Cognition, Technology & Work*. 2021. vol. 23. Pp. 367-371.

50. Ahangar M. N., Ahmed Q. Z., Khan F. A., Hafeez M. A survey of autonomous vehicles: Enabling communication technologies and challenges. *Sensors*. 2021. vol. 21(3). p. 706.

51. Pokhrel S. R., Choi J. Federated learning with blockchain for autonomous vehicles: Analysis and design challenges. *IEEE Transactions on Communications*. 2020. vol. 68(8). Pp. 4734-4746.

52. Markkula G., Madigan R., Nathanael D., Portouli E., Lee Y. M., Dietrich A., Merat, N. Defining interactions: A conceptual framework for understanding interactive behaviour in human and automated road traffic. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2020. vol. 21(6). Pp. 728-736.

53. Herrmann D. Thales of Miletus. In *Ancient Mathematics: History of Mathematics in Ancient Greece and Hellenism*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2023. Pp. 27-29.

54. Hahn R. Thales, the "Pythagorean Theorem", and Technological Context. *Dialogues d'histoire ancienne*. 2022. Pp. 27-33.

55. Mueller I. Greek arithmetic, geometry and harmonics: Thales to Plato. In *From the Beginning to Plato*. Routledge. 2023. Pp. 271-322.

56. Wang T., Xinge Z. H. U., Pang J., Lin D. Probabilistic and geometric depth: Detecting objects in perspective. *In Conference on Robot Learning*. 2022. Pp. 1475-1477.

57. Wang Z., Zhan J., Duan C., Guan X., Lu P., Yang K. A review of vehicle detection techniques for intelligent vehicles. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2022. vol. 34(8). Pp. 3811-3831.

58. Yao C., Feng S., Zhang F., Si H. Vehicle-Distance Measurement Based on Plate Area. *Journal of System Simulation*. 2020. vol. 29(11). Pp. 2820-2824.

59. Kim B. J., Lee S. B. Safety evaluation of autonomous vehicles for a comparative study of camera image distance information and dynamic characteristics measuring equipment. *IEEE Access*. 2022. vol. 10. Pp. 18491-18495.

60. Zaarane A., Slimani I., Al Okaishi W., Atouf I., Hamdoun, A. Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera. *Array*. 2020. vol. 5. Pp. 16-18.
61. Fys M., Litynskyi V., Vivat A., Litynskyi S. Investigation of formulas determination of a point's plane coordinates by the invers linear-angular resection. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*. 2021. vol. 94. Pp. 21-24.
62. Tian M. Z., Liu L., Lu J. Y., Cheng Y. Vehicle recognition based on Haar features and Adaboost cascade classifier. *In Journal of Physics: Conference Series*. 2022. vol. 2303. no. 1. Pp. 52-53.
63. Rao B., Ranjana R., Challa N. P., Chakravarthi S. S., Vellingiri J. Object Sub-Categorization and Common Framework Method using Iterative AdaBoost for Rapid Detection of Multiple Objects. 2023. Pp. 2-3.
64. Hashem N. M., Abbas H. K. Automatic Detection and Recognition of Car Plates Based on Cascade Classifier. *Ibn AL-Haitham Journal For Pure and Applied Sciences*. 2023. vol. 36(1). Pp. 130-138.
65. Verma P., Verma K., Singh A., Sundaram A. K., Bramhe V. S. Real-Time Vehicle Detection and Tracking System Using Cascade Classifier and Background Subtractor. *In Computer Vision and Robotics: Proceedings of CVR*. 2023. Pp. 435-438.
66. Павлова О., Білінська А., Головатюк А., БІНЬКОВСЬКИЙ Я., Мельничук, Д. Automated system for determining speed of cars ahead. *Computer systems and information technologies*. 2023. Pp. 35-39.
67. Gopikrishnan S., Madduru A. K., Karamsetty K., Ravuri D. R. Check for updates Smart Parking System with Automated Vehicle Log Using Haar Cascade Classifier ANPR. *In Computational Intelligence in Data Science: 6th IFIP TC 12 International Conference, ICCIDS 2023*. 2023. vol. 673. Pp. 266-268.
68. Ghalela M. A., Jusman Y., Mustar M. Y. Vehicle classification system using the Haar wavelet transformation algorithm and machine learning. *In AIP Conference Proceedings*. 2023. vol. 2865. no. 1. Pp. 26-28.

69. Arora N., Kumar Y. Automatic vehicle detection system in Day and Night Mode: challenges, applications and panoramic review. *Evolutionary Intelligence*. 2023. vol. 16(4). Pp. 1077-1095.
70. Sulistyaningrum D. R., Ummah T., Setiyono B., Utomo D. B., Sanjoyo B. A. Vehicle detection using histogram of oriented gradients and real adaboost. *In Journal of Physics: Conference Series*. 2020. vol. 1490. no. 1. p. 4-8.
71. Wieczorek G., Tahir S. B. U. D., Akhter I., & Kurek J. Vehicle detection and recognition approach in multi-scale traffic monitoring system via graph-based data optimization. *Sensors*. 2023. vol. 23(3). p. 1731.
72. Hashem N. M., Abbas H. K., Mohamad H. J. Detection and Recognition of Car Plates in Parking Lots at Baghdad University. *Iraqi Journal of Science*. 2023. Pp. 1019-1022.
73. Liu Y., Duan S., Shen Z., He Z., Li L. Grasp and Inspection of Mechanical Parts based on Visual Image Recognition Technology. *Journal of Theory and Practice of Engineering Science*. 2023. vol. 3(12). Pp 23-24.
74. Lindkvist H., Melander L. Micro-meso-macro assessment of drivers and barriers to implementing geofencing for sustainable transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. p. 63.
75. Liu G., Wang S., Zeng Q., Wang X. A Meso-Level Analysis of Factors Contributing to Freeway Crashes on Weekdays and Weekends in China. *Sustainability*. 2023. vol. 15(18). p. 80.
76. Xiang Y., Ma K., Mahamadu A. M., Florez-Perez L., Zhu K., Wu Y. Embodied carbon determination in the transportation stage of prefabricated constructions: A micro-level model using the bin-packing algorithm and modal analysis model. *Energy and Buildings*. 2023. p. 112640.
77. Sippel I. J., Magdin K. A., Evtyukov S. S. Simulation modeling to improve the sustainability of the city's road transport system. *In Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023)*. 2024. vol. 13065. Pp. 80-85.

78. Wang N., Tian H., Wu G., Tang J., Li Y. Shared travel demand forecasting and multi-phase vehicle relocation optimization for electric carsharing systems. *Transportation Letters*. 2023. Pp. 6-16.
79. Zhong H., Chen K., Liu C., Zhu M., Ke R. Models for predicting vehicle emissions: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*. 2024. p. 171324.
80. Furuness J., Morris C., Morillo R., Herzberg A., Wang B. Bgpy: The bgp python security simulator. *In Proceedings of the 16th Cyber Security Experimentation and Test Workshop*. 2023. Pp. 44-52.
81. Cusin O., Lou H. Traffic simulation using the Intelligent Driver Model: a study of the impact of safe distance on traffic flow. 2023. Pp. 6-8.
82. Simulating Traffic Flow in Python. URL: <https://towardsdatascience.com/simulating-traffic-flow-in-python-ee1eab4dd20f> (дата звернення: 10.03.2024).
83. Cao Z., Zhang J. Simulation Design of Continuous Linear Multiple Intersection Intelligent Traffic Light. *In Proceedings of the 6th International Conference on Machine Learning and Machine Intelligence*. 2023. Pp. 157-163.
84. Wang X., Qin X., Zhang H., Minchala L. I. Cognitive Granular-Based Path Planning and Tracking for Intelligent Vehicle with Multi-Segment Bezier Curve Stitching. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2023. vol. 37(1). Pp. 7-8.
85. Gehrig M., Aarents W., Gehrig D., Scaramuzza D. DSEC: A Stereo Event Camera Dataset for Driving Scenarios. *IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)*. 2021.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

КОПІЇ ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

1) Т. Novorushchenko, O. Pavlova, Y. Binkovskyi, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk. Road Accident Prevention System. In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2023. Pp. 1-7.

2) О. Павлова, А. Білінська, А. Головатюк, Я. Біньковський, Д. Мельничук. Automated system for determining speed of cars ahead. Computer systems and information technologies. 2023. Pp. 35-39.

3) А. Білінська, Я. Біньковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Аналіз даних для підтримки автоматичного попередження водія для кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1.

4) А. Білінська, Я. Біньковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Автоматичне виявлення автомобільних порушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024.

Road Accident Prevention System

Tetiana Hovorushchenko
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
th_hovorushchenko@knu.edu.ua

Olga Pavlova
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
olga1607pavlova@gmail.com

Yaroslav Hinkovskiy
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
hinkovskiy22@gmail.com

Ada Bilinska
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
bilinska.ada5@gmail.com

Andrii Holovatiuk
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
holovatiukao@gmail.com

Denys Melnychuk
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
deniska.melnychuk@gmail.com

Abstract—In the modern world, road safety remains a relevant issue as the number of vehicles on the road continues to grow. The alarming statistics of accidents, injuries and fatalities demonstrate the urgent need for effective measures to prevent dangerous situations on the road. This article discusses an advanced system developed to address this issue by combining various subsystems. These include speed detection, safe distance calculation, determination of the speed of the vehicle in front of you, road sign recognition, driver notification, and violation data collection. By integrating these subsystems, the system aims to improve road safety and reduce the risks associated with accidents.

Keywords—road safety, accidents, injuries, fatalities, system, speed detection, safe distance calculation, vehicle speed detection, road sign recognition, driver notification, violation data collection, camera, recognition, fixation.

I. INTRODUCTION

The topic of preventing road accidents is extremely relevant in the modern world. Every year the number of cars on the roads is growing, which leads to more traffic and an increased risk of accidents. According to the World Health Organization, millions of accidents occur on the roads every year, resulting in loss of life, injuries and significant material damage [1]. The system has great potential to reduce accidents and improve road safety. These subsystems help drivers detect and avoid potentially dangerous situations, promote compliance with traffic rules, and provide a timely response to danger [2]. The constant development of technology allows us to improve such systems and make them accessible to a wide range of motorists. Ensuring road safety is a priority for society, as it affects the lives and health of millions of people every day [3-5]. Therefore, the relevance of this topic lies in the need to implement innovative systems that prevent road accidents and improve road safety. This will help to reduce accidents, save lives and health, and reduce material damage associated with road accidents.

The situation on the roads of Ukraine is disappointing and alarming. Every day, the news reports on terrible accidents that result in deaths. The reason for such a critical situation on the roads is often irresponsible drivers who violate traffic rules and endanger their own lives and the lives of other road users [3]. This problem becomes especially acute during the mass vacation period, when the number of road trips and reckless drivers increases.

The data from the Traffic Police Department of the Ministry of Internal Affairs over the past six months shows the terrible reality on Ukraine's roads. More than 12.5 thousand road accidents caused thousands of deaths and more than 15 thousand injuries. Every 21 minutes an accident with victims occurs, and every 2 hours a person dies. These figures are impressive and make us make every effort to change the situation for the better [1].

In order to study and understand the state of accidents on Ukrainian roads, a detailed statistical analysis of data for 2021 was conducted. The results of this analysis were presented in the form of Figure 1, which clearly shows the distribution of accidents caused by drivers and pedestrians. Analysing the chart that shows the accident statistics for 2021, you can see the distribution of accidents caused by drivers and pedestrians. This data is very important for understanding the causes of accidents and developing effective measures to prevent them.



Fig. 1. Pie chart of statistics on the main causes of road accidents

According to the chart, 24% of accidents were caused by speeding, making it one of the most common causes. Violations of manoeuvring rules account for 19%, and violations of intersection rules and failure to maintain distance account for 7%. Additionally, 7% of accidents were caused by driving on the wrong side of the road, 6% by drunk drivers, and 5% by violations of pedestrian crossing rules.

In the case of pedestrians, 7% of accidents were caused by crossing the road in the wrong place, 6% by unexpectedly

entering the roadway, and 3% by drunken pedestrians. In addition, 9% of accidents were caused by other factors.

This diagram emphasizes the need for a road accident prevention system. The introduction of such systems can reduce the number of accidents because they aim to eliminate the factors that lead to accidents. For example, speed monitoring and lane departure warning systems help to avoid accidents related to speeding and manoeuvring violations.

In addition, automatic braking and pedestrian detection systems can help avoid accidents caused by pedestrians unexpectedly entering the roadway.

Implementing accident prevention systems is an important step in improving road safety. They can ensure that potential hazards are responded to more quickly and efficiently, helping to reduce the number of accidents and protect the lives and health of road users.

Therefore, based on this diagram, we can confirm the need to use accident prevention systems to reduce road accidents and save lives.

II. RELATED WORKS

Accident prevention systems may include subsystems such as vehicle speed detection, determination of the safe distance to vehicles ahead, determination of the speed of vehicles ahead, road sign recognition, driver alerts, and a system for collecting information about traffic violations. Therefore, the works of other scientists on this topic were reviewed.

The speed of a car on the road in different systems can be determined using different algorithms. In article [6], the car speed is determined using the method of vector motion interpolation. Modelling in MATLAB showed that the use of interpolation is quite effective, and the minimum error is less than 3%. In [7], the speed is determined by analysing the blurring of a car on a fragment. The system analyses the car in the area of interest and determines the final speed of the car using the droplet tracking method.

Another paper [8] proposes to use a two-stage cascade system for detecting objects on the road based on regression. The system simultaneously uses one-stage object detection methods, which are extremely fast, and two-stage methods, which have a high detection accuracy rate but have limitations in speed. Frame recognition and road sign detection can be performed using colour-based segmentation and detection

using the Hough transform, followed by classification using a capsule neural network [9].

The detection of vehicles with different vehicle characteristics (length/height) can be demonstrated by creating a neural network [10]. Such a system has a low complexity but significant measurement accuracy. Other researchers [11] have presented an innovative approach that uses a convolutional neural network (CNN) and an R-CNN mask to solve the problem of detecting and recognizing road signs.

In [12], the system combines the power of deep learning-based detection with the previous maps used in the IARA automotive platform. It allows recognizing appropriate traffic lights on predefined routes. The process consists of two phases: an offline phase for mapping and annotating traffic lights and an online phase for recognizing and identifying traffic lights while the vehicle is driving.

A vehicle distance measurement system can be developed using two cameras [13]. The distance between cars is calculated using the image of the car's position on the two cameras, the distance between the cameras, and the angle of the cameras' field of view. The paper [14] uses an algorithm that combines convolutional neural network (CNN) with computer vision methods, which allows for recognition on low-power, small-shaped platforms. Such platforms are lightweight, portable, and can be installed on autonomous vehicles in daylight.

Additionally, the authors considered the problem of ensuring security, which can be solved with the help of a smart parking software system [15] that uses car recognition methods. Another article [16] is devoted to this topic, namely the development of a cyber-physical system for smart parking based on Google Cloud Vision computer vision technology and using a model based on a reinforced convolutional neural network to detect free and occupied parking spaces in images, which showed good performance and practical value with an accuracy of 85.4%. Article [17] analyses various methods and tools for creating smart parking lots with evidence of the advantage of the camera-based method, and aims to recognize images for a camera-based smart parking system using convolutional neural networks.

The individual solutions are summarized in Table 1 and the positive and negative aspects of each study are highlighted.

TABLE I. ANALYSIS OF PAPERS THAT PROVIDE THE EMERGENCY PREVENTION SYSTEM TASK SOLUTION

Reference	Year	Algorithm / Model	Advantages	Disadvantages
[6]	2019	Interpolation of motion vectors	Not an expensive system, detects several cars simultaneously, high accuracy, high computing speed.	Using characteristics from the comparison set may make it difficult to recognize real road conditions due to a small error in matching the detection data.
[7]	2019	Blur analysis on a fragment	The system has great development opportunities and low costs.	It is important to properly configure the algorithm parameters and the region of interest, as the information from the comparison dataset may not be sufficient for recognition in real-world conditions.
[8]	2019	Two-step regression-based cascade object detection system	Fast and accurate vehicle detection system. Combining the advantages of two methods, providing better performance.	The need to adjust the parameters and the region of interest. Using information from the comparison dataset may limit the effectiveness of the system in real-world conditions.

[9]	2019	Colour-based segmentation	The use of a capsule neural network, which provides better resistance to spatial distortions and high reliability.	The use of a capsule network may be less fast than other methods, which may be important for real-time applications.
[10]	2019	Scale-insensitive deep convolutional neural network (SINet)	Neural network for fast and accurate detection. Use of context-aware RoI pooling and multi-branch decision network to improve detection.	May require high computing resources and training on large datasets to ensure optimal accuracy.
[11]	2020	CNN and R-CNN mask	Unifying convolutional neural networks with finite learning for efficient detection.	Challenges with detecting road signs due to similarity to other categories, wide viewing angles, and obstructions
[12]	2020	Distance measurement with two cameras	High measurement accuracy. Using a stereo camera and simple algorithms for efficient real-time measurement.	Possible limited performance in conditions of limited visibility or unstable weather conditions. Dependence on correct vehicle recognition.

Crash prevention systems in cars have become a necessary component for improving road safety. Rapid technological advances have made it possible to develop solutions that actively intervene to avoid accidents, provide timely information to the driver, and reduce risks on the road.

Toyota Safety Sense (TSS) – is a safety package that includes a variety of features to help prevent accidents. These features include automatic emergency braking, pedestrian detection, and driver attention monitoring. TSS detects obstacles in the vehicle's path and provides warning or active intervention to avoid potential accidents [18]. A safety package that includes a variety of functions to prevent accidents. Among these functions are automatic emergency braking, pedestrian recognition, and driver attention monitoring. TSS detects obstacles in the vehicle's path and provides warning or active intervention to avoid potential accidents [18].

Volvo City Safety – it uses radars and cameras to detect cars, pedestrians, and cyclists on the road. This system provides automatic emergency braking, which is triggered if a possible collision is detected, as well as a collision warning system and a traffic sign recognition system. Volvo City Safety helps to ensure safety and avoid accidents on the road [19].

Mercedes-Benz PRE-SAFE – the system anticipates possible emergencies and warns the driver, as well as takes measures to reduce risks. This system includes automatic braking, driver attention monitoring, stability control and other safety functions. Mercedes-Benz PRE-SAFE reacts to potential dangers and actively intervenes to prevent accidents and ensure passenger safety [20].

Honda Sensing – the system includes various functions such as automatic emergency braking, road sign recognition, and lane departure warning. This system helps drivers avoid collisions and improves overall road safety [21].

BMW Active Protection – the system incorporates a number of technologies, including a driver attention monitoring system, a lane departure warning system, automatic emergency braking, and a passenger protection system in the event of an accident. It recognizes potential hazards and actively intervenes to prevent accidents and ensure safety [22].

As part of the development of this project, we also reviewed and compared existing solutions on the market. Table 2 provides an overview of different crash prevention systems from different automakers, including Toyota Safety Sense, Volvo City Safety, Mercedes-Benz PRE-SAFE, Honda Sensing, and BMW Active Protection. Each system has its own unique features and capabilities aimed at improving road safety.

In general, these accident prevention systems are highly effective and improve road safety by actively intervening and informing the driver of potential dangers. Each system has its own characteristics, and the choice of a particular system depends on the driver's needs and preferences.

The main disadvantage of these systems is that they are built into cars by manufacturers. Therefore, it was decided to make the system portable so that it could be installed in any car.

TABLE II ANALYSIS OF EXISTING SYSTEMS ON THE MARKET

Safety system	Toyota Safety Sense	Volvo City Safety	Mercedes-Benz PRE-SAFE	Honda Sensing	BMW Active Protection
Automatic emergency braking	High	High	High	High	High
Pedestrian recognition	Yes	Yes	Yes	No	No
Driver attention control system	High	High	High	High	High
Collision warning system	High	High	High	Medium	Medium
Traffic sign recognition system	No	Yes	Yes	No	No
Stability control	High	High	High	Medium	High
Lane departure warning system	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Reaction to potential hazards	High	High	High	Medium	High
Occupant protection in the event of an accident	No	No	Yes	No	Yes

III. METHOD AND SYSTEM OF PREVENTING ROAD ACCIDENTS

During the project development, the system was decomposed. The system should consist of the following subsystems:

1. Determining the speed of the vehicle in which the system is installed;
2. Determining the safe distance to the vehicles in front;
3. Determination of the speed of the cars in front of you;
4. Recognition of road signs;
5. Driver alerts;
6. A system for collecting information about a vehicle that violates traffic rules.

The method of operation of the emergency prevention system can be as follows:

1. Determine the speed of the vehicle in which the system is installed:
 - a. The vehicle speed detection subsystem is used based on the calculation of the time and distance between the previous positions of the vehicle.
 - b. The time elapsed between two positions of the vehicle is measured.
 - c. The speed is calculated based on the distance and time travelled.
2. Determining the speed of the car in front of you:
 - a. A subsystem for detecting the speed of cars in front of you is used based on the analysis of the displacement of their positions in the image.
 - b. The time elapsed between the two positions of the car in front is measured.
 - c. The speed is calculated based on the known distance, time and speed of the user's car.
3. Determine the safe distance to the vehicle in front of you:
 - a. A subsystem for detecting a safe distance between cars is used based on the analysis of the distance between them in the image.
 - b. Computer vision techniques, such as object detection and image processing, are used to detect vehicles and measure the distance between them.
 - c. The measured distance is compared to a certain safe distance threshold. If the distance is less than the threshold, the distance is considered unsafe.
4. Recognize road signs and traffic light colors:
 - a. The subsystem for detecting and recognizing road signs based on image processing is used.
 - b. Computer vision and machine learning techniques are used to detect and classify road signs in images.
 - c. Recognized signs are analyzed to determine their meaning and instructions.
5. Driver alerts:
 - a. If the system detects a dangerous situation, such as failure to maintain a safe distance or recognizes a specific road sign, the driver is notified.

- b. The warning can be realized by means of audible signals, visual indicators on the dashboard or a message system.
6. A subsystem for collecting information about a vehicle that violates traffic rules:
 - a. If the system detects a vehicle that violates traffic rules, such as speeding or running a red light, it can collect information about that vehicle.
 - b. Information, such as the license plate number or an image of the vehicle, may be captured for later use, such as to share information with law enforcement.

All of the above subsystems and the relationships between them were depicted in a decomposition diagram (Figure 2).

The following algorithm is used to determine the safe distance to the cars ahead.

The first step is to add a cascade classifier file (`cascadeSource`) to the project and specify the path to the video footage (`videoSource`). Based on the cascade classifier file, a cascade classifier for car recognition is created (`carCascade`). A video stream is created from a link to video materials (`capture`). The following frame (`img`) is looped from the video stream, blurred and converted to black and white color space (`gray`).

The next step is to recognize cars in the black-and-white frame using a cascade classifier. The list of detected cars is written to the "cars" variable. After that, for each detected car, its coordinates (`x`, `y`, `w`, `h`) are determined, based on which the distance to them from the user's car is calculated. Also at this stage, each car is assigned its own serial number. The results of the calculations are used to visualize the safety distance for the driver.

The algorithm for determining the safe distance to the cars ahead is shown in the parametric diagram (Figure 3).

The Haar cascade classifier is a machine learning algorithm used to detect objects in images using Haar features. These features include a set of rectangular regions with variable sizes and relative pixel intensities [24].

To calculate the value of a particular Haar feature for any image, you need to add the brightnesses of the image pixels in the first and second groups of rectangular areas separately, and then subtract the second from the first sum. The resulting difference is the value of a specific Haar feature for a given image.

The cascade classifier uses several stages, each with its own tree classifier, to sequentially filter out negative areas and identify the areas containing the object. Properly trained, the Haar cascade is very fast and has good robustness to various kinds of outliers. This method was originally developed for face recognition, but it can also be used to detect other objects.

In this subsystem, the file contains a description of a cascade classifier that has been trained on a certain dataset to detect cars. It contains information about the cascade structure (stages and trees), as well as parameters (thresholds, left and right branch values) for each classifier tree. These parameters are used to decide whether a car is present in each individual frame of the video [25].

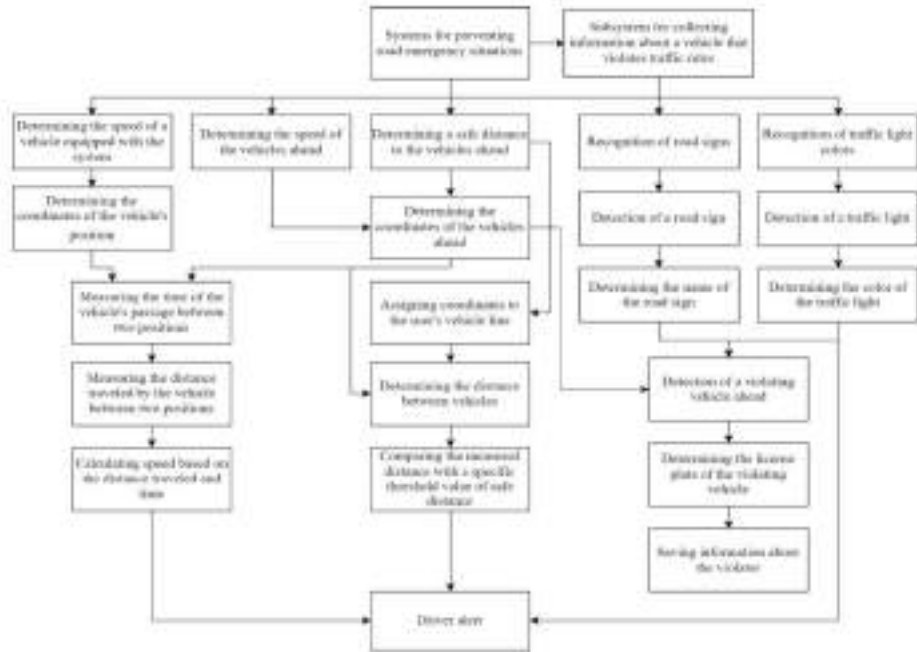


Fig. 2. System decomposition diagram

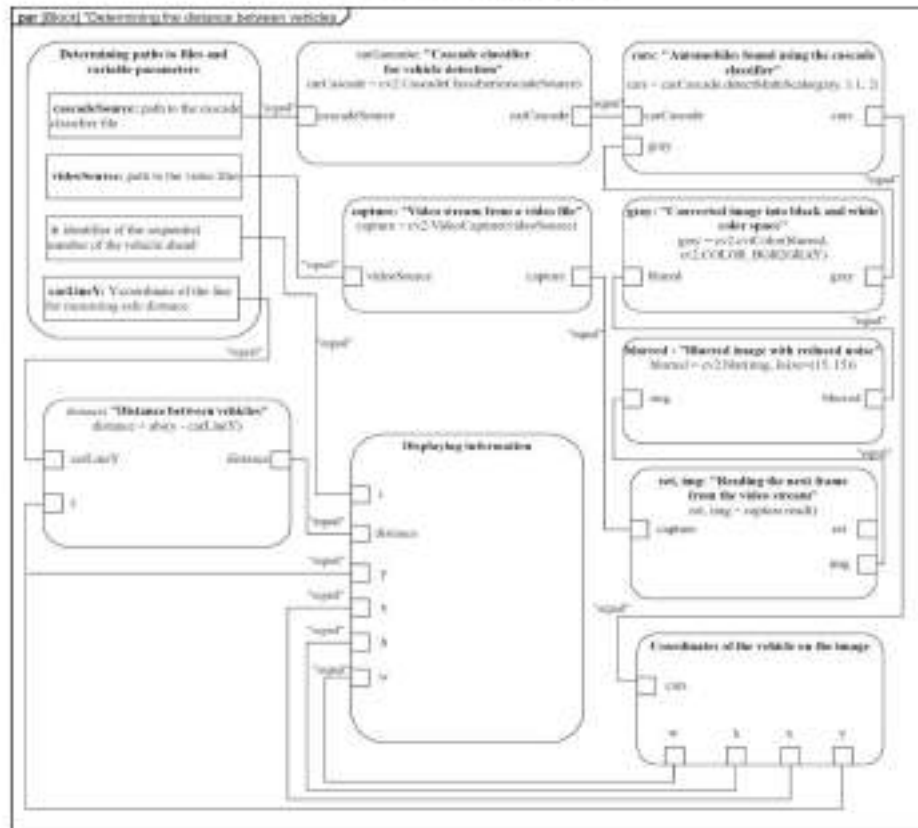


Fig. 3. Parametric diagram for calculating the distance between cars

When using the Haar cascade classifier, it is loaded using `cv2.CascadeClassifier(cascadeSource)`. Next, the stages of car recognition are performed, as shown in Figure 4.

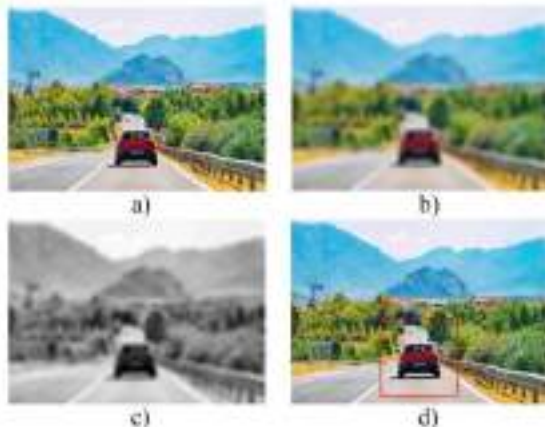


Fig. 4. Stages of car recognition in a photo: a) Reading a frame from a video stream b) Image blurring and noise reduction c) Converting the image to black and white d) Detected car

To read the next frame from the video stream, use the `ret` function, `img = cap.read` (Figure 4(a)). Then, the image is blurred and shimmer is reduced using the function `blurred = cv2.blur(img, ksize=(15, 15))` (Figure 4(b)). The image is also converted to black and white color space (Figure 4(c)). Next, the `carCascade.detectMultiScale` function is executed on each frame of the video, which uses a cascade classifier to detect cars (Figure 4(d)). Using the result of this detection, the cars are processed and the distance between them and the Y coordinate of the user's car line is calculated. Thus, the cascade classifier file acts as a trained classifier that determines how to detect cars in the video and recognize them.

IV. EXPERIMENTS AND RESULTS

For the experiment, we took a video recording from a car's dashcam, downloaded from the YouTube platform [26]. According to previous studies, the subsystem should determine whether the distance between cars is safe. We considered different scenarios of car location affected by the speed of the user's car (Figure 5).

In the first case, the user's car is moving at a speed of 120 km/h, and the distance between cars should be at least 67 meters. In the second scenario, the car is traveling at 80 km/h, and the distance between the cars should be at least 45 meters. In the third case, the car is traveling at a speed of 40 km/h, and the distance between them should be at least 23 meters.

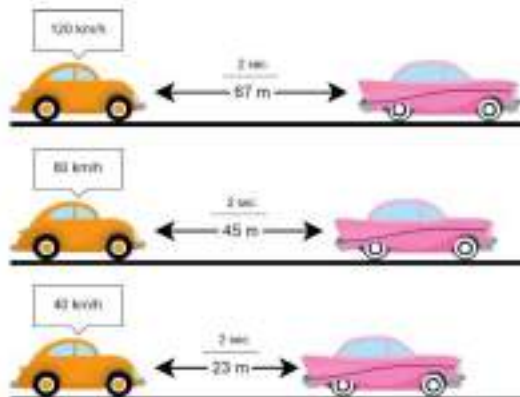


Fig. 5. Approximate distance between cars according to traffic rules

During the experiment, an example of a situation where the car in front is moving at a safe distance was recorded, as shown in Figure 6. And also, an example of a situation with an unsafe distance (Figure 7).

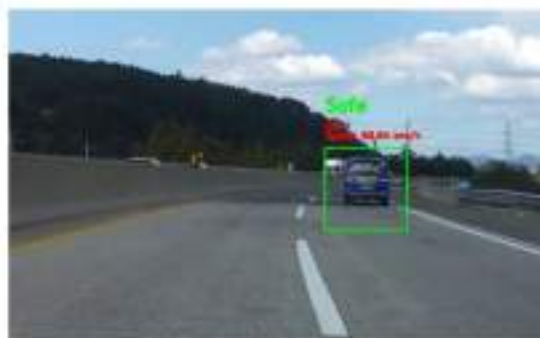


Fig. 6. Example of system operation at a safe distance

As part of our research on this topic, we developed software that processes the video stream from a camera installed in a car. It uses computer vision algorithms to recognize cars moving ahead of the car with the installed system. The following steps are taken for the detected cars:

- sets the serial number for the found car;
- the distance to the car is determined;
- the time of passing through points A and B (set beforehand) is calculated;
- based on the time and distance, the vehicle speed is calculated;
- based on the speed and distance, calculates whether the distance to the vehicle is safe;
- display the serial number of the vehicle (Car number);
- display the vehicle speed (Speed);
- display the Safe or Unsafe parameter of the distance to the vehicle in the appropriate colour;
- displaying a square around the detected vehicle in the corresponding colour according to the safety.



Fig. 7. Example of system operation at a dangerous distance

Also, if the distance to the car in front of you is too close, the user will be informed about it by a special signal. This signal should not be loud and harsh so as not to distract the driver from the road. Instead, the signal should be clearly audible and easily distinguishable from other signals. It is assumed that after hearing this signal, the user will be more vigilant to the situation on the road and pay extra attention to the "dangerous" car. This will make it possible to increase the distance to it and, if necessary, make appropriate manoeuvres.

V. CONCLUSIONS

In this article, we have reviewed the road accident prevention system, its relevance and the research of other scholars on road safety. Given the above facts and research, it can be concluded that this system is an extremely significant step in improving road safety. The integration of subsystems for speed detection, safe distance, road sign recognition, driver alerts, and information collection on rule violators allows the system to adapt to changing road conditions and respond in a timely manner to ensure maximum safety.

However, it is important to note that the system cannot replace the driver's responsibility and attention. The purpose of the system is to help and support drivers, but the driving remains in their hands. During testing, the system was found to be quite fast and accurate in use. It is capable of recognizing, analysing, and informing the driver at a high speed, which will increase the time for the user to make decisions based on the information collected.

While working on the system, we also reviewed more than a dozen works by other scholars. We also analysed the methods used by the researchers in these works, their advantages and disadvantages. Additionally, the pros and cons of solutions already on the market, such as Toyota Safety Sense, Volvo City Safety, Mercedes-Benz PRE-SAFE, Honda Sensing, and BMW Active Protection, were considered. Based on these studies, adjustments were made to the road accident prevention system.

In the future, it is planned to expand the system's functionality, which will further increase its usefulness. A number of additional tests will also be conducted to correct previously unnoticed errors and increase the system's reliability.

REFERENCES

- [1] Statistics on Road accidents (accessed July 15, 2023) URL: <https://rsgo.kiev.ua/post/logvna5x1-strahna-statistika-avarij>.
- [2] Car accident statistics for 2023 (accessed July 28, 2023) URL: <https://www.forbes.com/advisor/legal/car-accident-statistics/>.
- [3] Patrol police of Ukraine. Statistics (accessed July 28, 2023) URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>.
- [4] Quantity of road accidents in Ukraine. Opendatahub (accessed July 28, 2023) URL: <https://www.openstreetmap.org/data/461735-kilost-dtp-v-ukraini-mostov-opendatahub/>.
- [5] The statistics are positive: The police reported on the number of road accidents in 2022 (accessed July 28, 2023) URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/statistika-e-pozitivnoya-politsiyi-prov-karali-1676036106.html>.
- [6] J. K. Josephine Julina, T. See Sharmila and S. J. Gladwin, "Vehicle Speed Detection System using Motion Vector Interpolation," 2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), Bangalore, India, 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/GCAT47503.2019.8978375.
- [7] A. Younis, A. Shahbahrani, A. Alkoshidi, S. Khawso, C. Y. Suen, "Motion-based vehicle speed measurement for intelligent transportation systems," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 2019, pp. 42-44.
- [8] X. Dai, "HybridNet: A fast vehicle detection system for autonomous driving," *Signal Processing: Image Communication*, 2019, pp. 79-88.
- [9] M. H. Kerech, "Computer vision based traffic sign sensing for smart transport," *Journal of Innovative Image Processing*, 2019, pp. 11-19.
- [10] X. Hu, X. Xu, Y. Xiao, H. Chen, S. He, J. Qin, P. A. Heng, "SINet: A Scale-Invariant Convolutional Neural Network for Fast Vehicle Detection," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 1010-1015, doi: 10.1109/ITIS.2018.2838132.
- [11] D. Tabernik and D. Skočaj, "Deep Learning for Large-Scale Traffic-Sign Detection and Recognition," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, vol. 21, no. 4, pp. 1427-1429, doi: 10.1109/ITIS.2019.2913568.
- [12] L. C. Passath, R. Guidolini, V. B. Cardoso, R. F. Berndt, T. M. Pinho, C. Hadje, T. Oliveira-Santos, "Traffic light recognition using deep learning and prior maps for autonomous cars," in 2019 international joint conference on neural networks (IJCNN), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IJCNN.2019.8851927.
- [13] A. Zorane, I. Shimeni, W. Al Okasha, I. Aouf, A. Hamdon, "Distance measurement system for autonomous vehicles using stereo camera," *Arxiv*, 2020, pp. 1-3.
- [14] G. Gokaravoorji, I. Martinez-Agrios, Q. Wang, J. M. Alcaraz-Calero, "Robust real-time traffic light detector on small-form platform for autonomous vehicles," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1080/15472450.2023.2210518.
- [15] T. Hovorushchenko, O. Pavlova, and M. Kostuk, "Method of Increasing the Security of Smart Parking System," *JCSANDM*, vol. 12, no. 03, pp. 297-314.
- [16] P. Radzik, O. Pavlova, II. EI Boudissi, V. Avsyrych, V. Kovalenko, "Convolutional neural network for parking slots detection," 2022, pp. 1-3.
- [17] O. Pavlova, V. Kovalenko, T. Hovorushchenko, V. Avsyrych, "Neural network based image recognition method for smart parking," 2021, pp. 49-51.
- [18] Toyota Safety Sense(TSS) (accessed July 16, 2023) URL: <https://www.toyota.ua/discover-toyota/safety>.
- [19] Standard security systems Volvo Cars (accessed July 16, 2023) URL: <https://www.wimmerauto.ua/about/sogodennya/standartni-sistemi-bezpeki-volvo-cars-ukrochun-killist-strahovih-zvenen-zo-vezlannami-dtp-na-28/>.
- [20] The Mercedes-Benz S-Class presents an intelligent safety concept (accessed July 16, 2023) URL: <https://www.mercedes-benz-kyiv.com/mercedes-benz-s-class-predstavlye-intelektualni-kontseptsiya-bezpeky-2016>.
- [21] Honda Sensing Safety Concept (accessed July 16, 2023) URL: <https://honda.ua/bezpeka-ukhu/servisy-cl-1083>.
- [22] What Is Active Protection In Your BMW? (accessed July 16, 2023) URL: <https://www.schmiers.com/what-is-active-protection-in-your-bmw/>.
- [23] L. Zhang, J. Wang, Z. An, "Vehicle recognition algorithm based on Haar-like features and improved Adaboost classifier" in *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2023, vol. 14, no.3, pp. 807-810.
- [24] T. R. Tamim, S. Alam, A. Asmi, "An Enhancement in Accuracy of Vehicle Detection in Parking Area Employing Haar-Like Features and Adaboost Algorithm" in *Procedia Elektrochimia*, 2021, vol. 97, no. 9.
- [25] A. Luo, F. An, X. Zhang, H. J. Mattusch, "A hardware-efficient recognition accelerator using Haar-like feature and SVM classifier" in *IEEE Access*, 2019, pp. 14472-14487.

Olga PAVLOVA, Ada BILINSKA, Andrii HOLOVATIUK,
Yaroslav BINKOVSKYI, Denys MELNYCHUK
Klimentyivskyi National University

AUTOMATED SYSTEM FOR DETERMINING SPEED OF CARS AHEAD

Road accidents and speeding violations are pervasive issues that pose substantial threats to road users on a daily basis. In an ongoing effort to improve road safety and reduce the frequency of accidents, researchers and engineers have been dedicated to the development and implementation of new technologies. One such significant innovation is the utilization of speed control systems based on traffic cameras.

This paper delves into a thorough exploration of the pivotal role and significance of speed control systems on our roadways. It investigates the operational principles, advantages, and various strategies employed to enhance the efficiency of these systems, with the ultimate goal of achieving optimal results in speed control and ensuring road safety. Speeding remains a widespread concern that significantly contributes to road accidents. Such incidents lead to injuries, fatalities, and extensive property damage, underscoring the urgent need for effective speed control measures. Among the arsenal of solutions available, speed control systems utilizing traffic cameras have emerged as a prominent and promising approach. These systems function by monitoring and recording the speed of vehicles at specific locations, which is later used to enforce speed limits and penalize offenders. The advantages of speed control systems based on traffic cameras are multifaceted. They offer an objective and reliable method for detecting and documenting speeding violations, eliminating the need for law enforcement personnel to be present at all times. This aspect not only frees up law enforcement resources but also ensures consistent and unbiased enforcement of speed limits. Additionally, the data collected by these systems can serve as a valuable resource for traffic management, accident analysis, and road safety research.

Keywords: speed control system, traffic camera, road safety, speeding, road accidents.

Ольга ПАВЛОВА, Ада БІЛІНСЬКА, Андрій ГОЛОВАТЮК,
Ярослав БІНЬКОВСЬКИЙ, Деніс МЕЛЬНИЧУК
Кліментівський національний університет

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ АВТОМОБІЛІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ ПОПЕРЕДУ

Дорожно-транспортні пригоди та порушення швидкісного режиму є поширеними проблемами, які щодня становлять серйозну загрозу для учасників дорожнього руху. У постійній зусиллях щодо покращення безпеки дорожнього руху та зменшення частоти аварій дослідники та інженери прагнуть собі розробити та впровадити нових технологій. Одним із таких важливих нововведень є використання систем контролю швидкості на основі камер руху.

Ця стаття детально досліджує ключову роль і значення систем контролю швидкості на наших дорогах. Він досліджує принципи роботи, переваги та різні стратегії, що використовуються для підвищення ефективності цих систем, з кінцевою метою досягнення оптимальних результатів у контролі швидкості та забезпеченні безпеки дорожнього руху. Порушення швидкості залишається широко поширеною проблемою, яка значною мірою сприяє дорожньо-транспортним пригодам. Такі інциденти призводять до травм, смертельної втрати життя і значної матеріальної шкоди, що підкреслює нагальну потребу в ефективних заходах контролю швидкості. Серед арсеналу доступних рішень системи контролю швидкості, які використовують камери дорожнього руху, стали видатним і багатобачним підходом. Ці системи функціонують шляхом моніторингу та реєстрації швидкості транспортних засобів у певних місцях, що згодом використовується для дотримання обмежень швидкості та покарання порушників. Переваги систем контролю швидкості на основі відеокamer багатогранні. Вони пропонують об'єктивний і надійний метод виявлення та документування порушень швидкісного режиму, усуваючи необхідність постійної присутності правоохоронних органів. Цей аспект не тільки звільняє ресурси правоохоронних органів, але й забезпечує послідовне та неупереджене дотримання обмежень швидкості. Крім того, дані, зібрані цими системами, можуть служити цінним ресурсом для управління дорожнім рухом, аналізу аварій і дослідження безпеки дорожнього руху.

Ключові слова: система контролю швидкості, камера дорожнього руху, безпека дорожнього руху, порушення швидкості, дорожні пригоди.

Introduction

On the modern roads, where road transport has become an integral part of life, ensuring the safety of all road users is one of the key tasks for states and bodies responsible for road traffic. Given the growing number of motor vehicles, it is necessary to constantly develop and implement new technologies that contribute to reducing the risk of traffic accidents and violations of traffic rules [1].

One of the promising solutions for controlling compliance with the speed limit on roads is the use of traffic camera systems. These systems, based on advanced technologies, provide effective traffic monitoring and detect violations such as speeding, which are certainly one of the most common causes of road accidents [2].

A continued focus on road safety is an important task, and effective speed control systems play an important role in achieving this goal. The use of advanced technologies and systems that allow accurate measurement of the speed of vehicles reduces the risk of accidents and contributes to the improvement of road discipline.

Domain analysis

Road speed is an important aspect of road safety, but the lives and safety of thousands of people are put at risk every day because of the unconscious attitude of some drivers to this aspect. Speeding is one of the most common and dangerous causes of road accidents, which leads to serious and tragic consequences for road users. [3].

According to the collected statistics (2011 - 2021), at least 25 percent of the total number of deaths and 10 percent of people injured in road accidents are due to speeding incidents. These statistics are detailed in Table 1 [4-5].

The data from the table were structured and displayed in the form of two diagrams in Figures 1 and 2 [5]. According to the charts presented about the number of people killed and injured in the world from 2011 to 2021 due to speeding, excessive speed has quite serious consequences. During the last decade, the number of people killed due to speeding has increased by 23% - from 10,001 people in 2011 to 12,330 people in 2021. In general, during the studied period, the loss of life due to speeding is approximately 29% of the total number of road accident fatalities, and the number of injured persons was also 13%. These are very alarming indicators that require immediate attention and action.

Table 1

Killed and injured people due to speeding in 2011-2021

Year	Number	Percent	Total	Number	Percent	Total
Killed			Injured			
2011	10 001	31	32 479	459 776	21	2 227 209
2012	10 329	31	33 782	502 846	21	2 369 083
2013	9 696	29	32 893	383 137	17	2 318 992
2014	9 283	28	32 744	339 189	14	2 342 621
2015	9 723	27	35 484	348 16	14	2 454 778
2016	10 291	27	37 806	376 914	12	3 061 885
2017	9 947	27	37 473	361 95	13	2 745 268
2018	9 579	26	36 835	358 924	13	2 710 059
2019	9 592	26	36 355	326 554	12	2 740 141
2020	11 258	29	38 824	308 013	13	2 282 015
2021	12 330	29	42 939	328 946	13	2 497 657

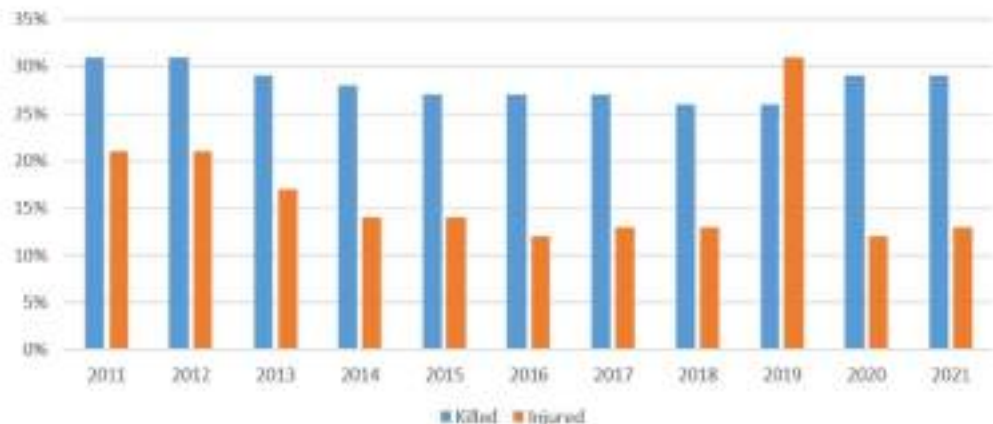


Fig. 1. Percentage representation of killed and injured people due to speeding in 2011-2021

Using the speed control system in a car is a key component of safe road operation and reducing road accidents. This system helps drivers maintain a safe speed and a safe distance from the vehicle in front by providing timely warning of dangerous distance, speeding or sudden braking.

Such speed control systems are becoming increasingly popular in the automotive industry as they demonstrate their effectiveness in preventing accidents and reducing injuries. They help drivers to become more attentive and responsible road users, and also contribute to the preservation of life and health of everyone on the roads [6]. The application of speed control systems is an important step towards achieving a safer and more stable road traffic, which is important for humanity.

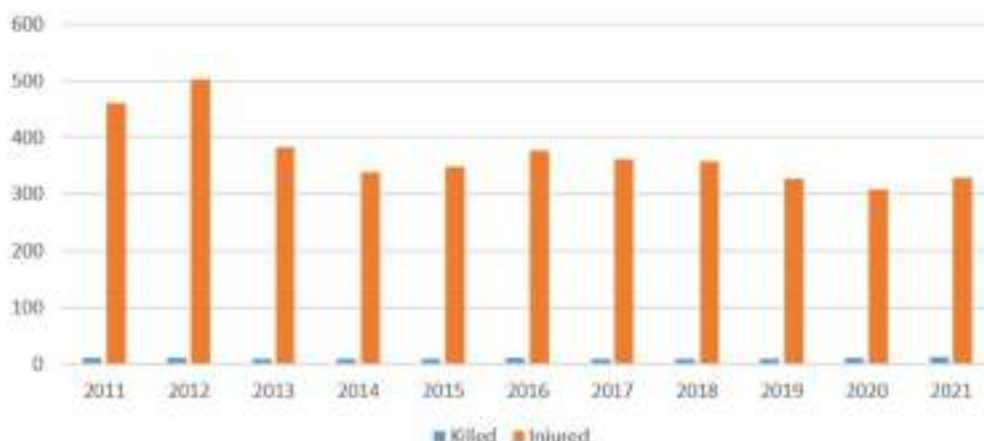


Fig.2. Quantitative representation of killed and injured people due to speeding in 2011-2021

Analysis of existing solutions and technologies

Preventing road accidents and ensuring road safety is a priority for every driver. In this regard, within the framework of the development and improvement of vehicle safety systems, great attention is paid to ready-made solutions that are available on the market. Modern technological progress offers us a variety of systems that help monitor compliance with speed limits, record traffic situations and ensure the preservation of video with the prospect of use as evidence [7].

Overview of the ready-made systems will allow to understand their advantages and make a significant contribution to improving road safety and reducing the risk of road accidents:

1. State speeding video recording system

State speeding video recording systems, located on roads and highways, work on the basis of special cameras and sensors that record the movement of vehicles. Cameras can be placed on stationary posts or mobile devices. When a vehicle exceeds the set speed, the system automatically registers its license plate and time, and then generates a special ticket, which is sent to the owner of the vehicle by mail or email. The owner of the vehicle receives a notification of the violation and instructions to pay the fine. These systems help monitor compliance with speed limits on roads and ensure the safety of road users [8].

2. Dashcam - an application for recording traffic violations

Dashcam is an application that provides video from the car camera recording and stores it in the cloud. The application allows you to view recorded videos, download them to your computer or phone, and share them with others. To use Dashcam, you must first install the app on your phone or tablet. After installation, you need to create an account and connect the car camera to the application. After that, you can start recording the video. Dashcam allows you to record videos in Full HD (1080p) or HD (720p) quality. The app also allows you to adjust recording parameters such as video duration, resolution, and frame rate [9].

3. Speedometer Pro

Speedometer Pro is a mobile application that provides car speed tracking. The app is available for iOS and Android devices and displays the current speed, maximum speed, average speed, distance traveled and driving time. It is possible to view the history of tracking your own speed over a certain period of time [10].

After researching the available driver assistance systems and conducting the analysis, we can proceed to an in-depth comparison of these solutions. This process will allow us to uncover the unique characteristics of such systems, identify key benefits, and consider potential limitations. A comparison of the characteristics of the considered systems is presented in Table 2.

Table 2

Comparison of already existing solutions for speeding control

Characteristic	State speeding video recording systems	Dashcam	Speedometer PRO
Principle of the operation	Video recording of traffic violations using cameras installed on the roads	Video recording of traffic violations using cameras installed in the car	Tracking car speed using GPS
Accessibility	Available in all regions of Ukraine	Available for both - iOS and Android-based devices	Available for both - iOS and Android-based devices
Functionality	Tracking speeding, recording traffic violations, photographing traffic violations	Tracking speeding, recording traffic violations, photographing traffic violations, video recording	Speed tracking, speeding capture
Resource consumption	High	Medium	Low
Video quality	resolution up to 720p, frame rate up to 30 fps	resolution up to 1080p, frame rate up to 30 fps	Information is unavailable
Resource management	Automatic	Manual	Automatic
Advantages	High accuracy, the possibility of bringing violators to justice	High accuracy, the possibility of bringing violators to justice, the possibility of recording violations of traffic rules on roads where there are no cameras	High accuracy, the ability to control the speed of the car
Disadvantages	The cost of cameras installing	The cost of cameras installing	Impossibility of traffic rules violations recording
General impression	A successful system that helps make Ukrainian roads safer	A successful system that helps make Ukrainian roads safer	A successful system that helps drivers to control the car speed

Based on the comparison of existing systems, the authors propose to develop their own device, which will combine various functions from these systems, to increase safety and comfort on the road. Combining the features of existing driver assistance systems, our device will determine the speed of the vehicle in which the system is located, determine the speed of the vehicle ahead, collect information about cars violating traffic rules and take specific measures to punish offenders and keep other drivers on the road safe.

The operation of automated system for determining speed of cars ahead

The system for determining the speed of the car in front can work as a separate link or as part of another system. As a separate component of the system, it increases vehicle safety by providing the driver with information about the speed of vehicles moving in front of him. This information helps the driver to respond in time to changes in the speed of other cars and ensures safer driving.

The system works according to the following algorithm: when the car engine is turned on, this system is turned on together with it. The first step is to find the cars ahead. At this stage, cars are recognized using the Gavr classifier method. The search is conducted until at least one vehicle is found. When a car is found, the system determines its coordinates and assigns an index (serial number) to it. For a given car, the distance traveled in a certain period of time is calculated and, based on this, its speed is calculated.

The next step is to track the detected car and its speed. This stage works while he is in the camera's field of view. If the car begins to brake and is at a short distance from the car in which the system is installed, the user will be notified of this by a special sound signal played from the speaker. This will focus the driver's attention on the situation on the road and give additional time to prevent a possible accident.

Also, when following a car, it may happen that it exceeds the permitted speed. In this case, the system will collect data about the violator and save it in the storage. At the same time, the user will have the opportunity to inform the law enforcement authorities about this event.

Every time the system identifies a new car, this algorithm is restarted. It is also provided for the simultaneous operation of the algorithm when recognizing more than one car.

The graphic representation of the abovementioned algorithm is presented in Figure 3.

For a detailed introduction to the operation of the car speed detection system, a parametric diagram was created (Figure 4). After recognizing the car in front, with the help of a cascade classifier, the coordinates of the car in the image are determined [11]. An integral step will be to determine the Y coordinate of the center of the car, to compare with the Y coordinates of lines A and B to determine the speed of the car. You also need to determine the time of crossing lines A and B, which will help determine the time the car travels the distance between them. The speed of the car will be calculated using the determined parameter of the distance between the lines and the passing time.

Experiments and directions of further work

During the development of the speed detection subsystem, it was decided to conduct testing on video footage from a traffic camera.

During the experiments, it was found that for a more accurate measurement of the speed, it is necessary to reduce the resolution of the video stream. This will reduce the load on the microcontroller and allow more accurate determination of the car's position.

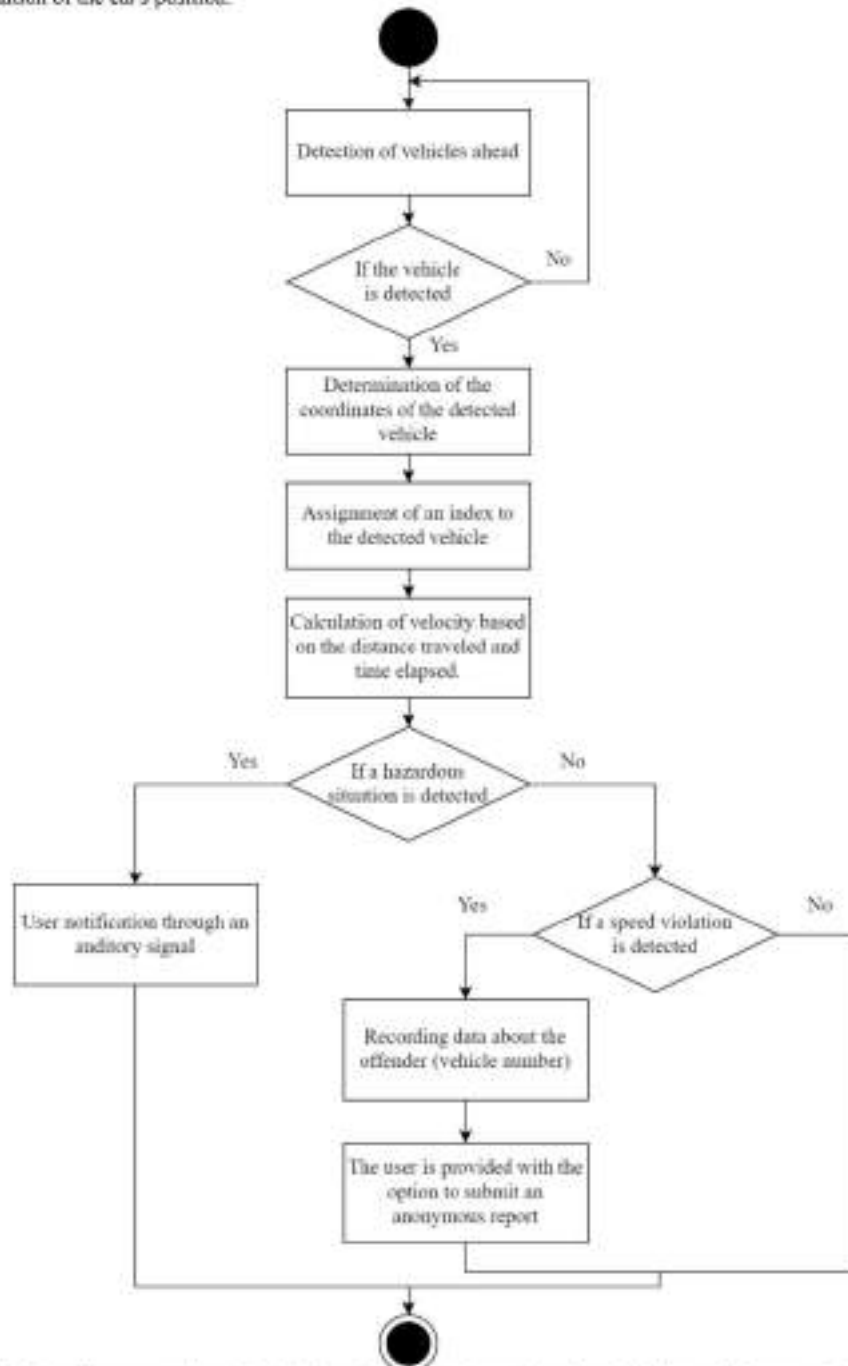


Fig.3. Graphic representation of the algorithm of the automated system for determining the speed of cars moving ahead

- The test results are shown in Figures 5 and 6. They show the operation of the system, namely:
- display found cars;
 - current state of the system ("Calculating");
 - the position of two lines for measuring the time during which the car traveled the distance between them, on the basis of which the speed is measured;
 - display of line B in green when a car crosses it;
 - speed of the car when crossing line B.

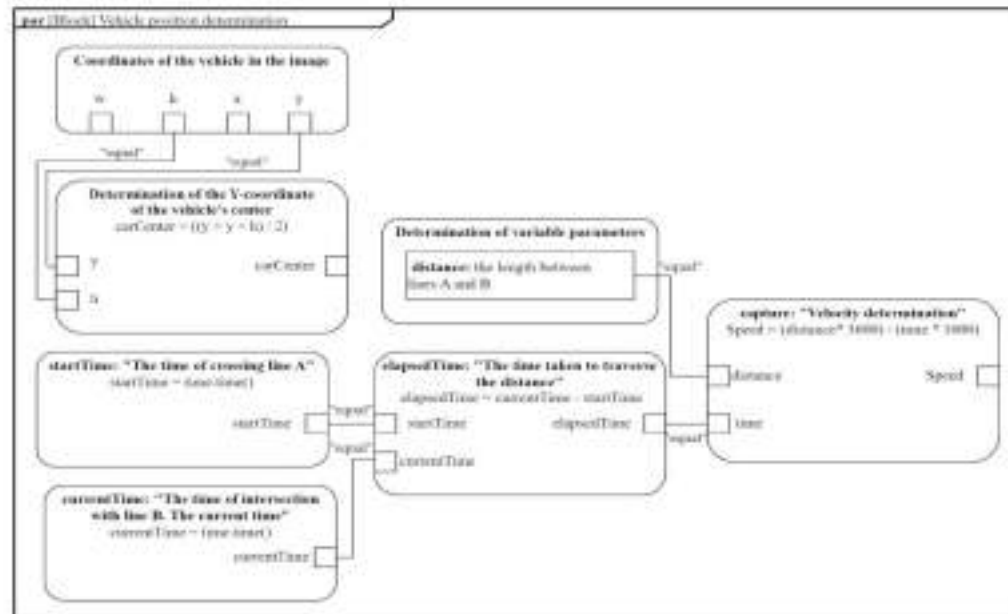


Fig.4. Parametric diagram of car speed determining

To develop a vehicle speed detection device, the first step is to research the necessary functionality and requirements that are important for such a device. One of the important aspects of device development is ensuring high accuracy of speed determination. Accuracy in such a device is a critical factor, as inaccurate speed information can lead to dangerous situations on the road or false alerts to law enforcement.

To develop a vehicle speed detection device, the first step is to research the necessary functionality and requirements that are important for such a device. One of the important aspects of device development is ensuring high accuracy of speed determination. Accuracy in such a device is a critical factor, as inaccurate speed information can lead to dangerous situations on the road or false alerts to law enforcement.

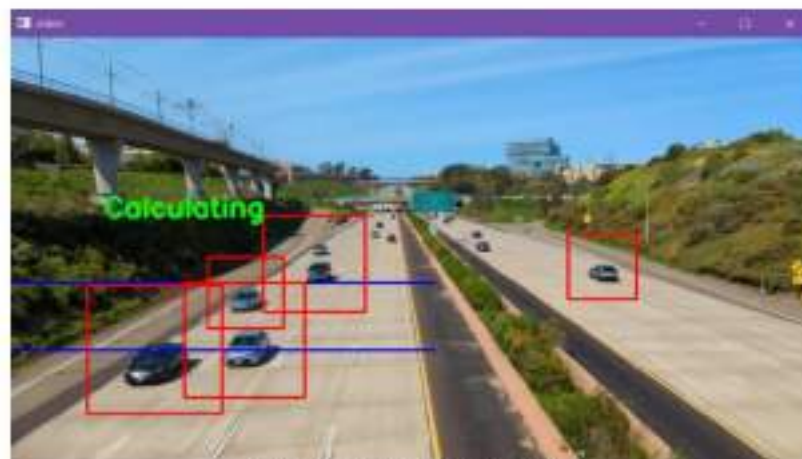


Fig.5. Cars recognition in a video frame



Fig.6. Crossing line B by car

As a result, certain requirements for the further development of the device were formed based on the main factors mentioned above:

- 1) increase in accuracy - research of new methods of speed measurement;
- 2) integration with other safety systems - compatibility of the device with other safety systems, such as stability control, automatic emergency braking, etc.;
- 3) data analysis and forecasting - using data analysis and AI to track various driver behaviors, assess risks and improve systems;
- 4) cooperation with law enforcement agencies - enabling the user to send information about violators of traffic rules to law enforcement agencies, which can potentially reduce the number of violators on the roads;
- 5) anonymity - ensuring the anonymity of the user when sending a message about an offense.

Conclusions

Considering the statistics of the number of people killed and injured on the world's roads from 2011 to 2021, related to speeding, it is clear that excessive speed is a serious problem and affects the safety of road users. Over the past ten years, due to the increase in road traffic, the number of victims and victims of speeding accidents has remained high.

After analyzing the ready-made solutions, such as the state video recording system of speeding, Dashcam, Speedometer PRO, the disadvantages and advantages of these systems were taken into account and the work of the own system for determining the speed of the car in front was developed, which will combine various functions from these systems to increase the safety and comfort on the road. Combining the features of existing driver assistance systems, our device will determine the speed of the vehicle in which the system is located, the speed of the vehicle in front, collect information about cars violating traffic rules and will allow the user to send information to law enforcement agencies for the safety of other drivers on the road.

Taking into account the negative impact of speeding on road safety, it is important to actively promote the introduction of speed control systems in cars. These systems allow the car to determine the optimal speed and safe distance to the vehicle in front, as well as provide the driver with appropriate warnings of dangerous situations, such as speeding by the vehicle in front or sudden braking.

Implementation of speed control systems is a mandatory measure to improve road safety and reduce the number of traffic accidents related to non-observance of speed limits. Such technologies will help reduce the number of victims and injured on the roads, save the lives and health of road users and make the roads safer for everyone. Therefore, the use of a speed control system in cars is an important step in improving road safety.

References

1. H. T. Moufah, M. Eró-Kantari, S. Soome, *Connected and Autonomous Vehicles in Smart Cities*. CRC Press, 2020. pp. 174-177.
2. M. F. Kabir, Roy, S. *Real-time vehicular accident prevention system using deep learning architecture*. *Expert Systems with Applications*, 2022.
3. B. S. Job, C. Brodie, *Road safety evidence review: Understanding the role of speeding and speed in serious crash trauma: A case study of New Zealand*. *Journal of road safety*, 2022. pp. 5-25.
4. Статистика ДТП в Україні (accessed July 15, 2023) URL: <https://img.kiev.ua/post/kxgymfz1-strashna-statistika-avari>.

5. National Center for Statistics and Analysis. Speeding: 2021 data (Traffic Safety Facts, Report No. DOT HS 813 473). National Highway Traffic Safety Administration, 2023. pp. 2. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/813473>.
6. M. B. A. Rabhani, M. A. Mianat, W. S. Alshoul, S. Ayub, H. Bakluni, M. Alrai, Road accident data collection systems in developing and developed countries: a review. *International Journal of Integrated Engineering*, 2022. pp. 336-352.
7. D. N. Venn, G. Rakosh, K. Munesaha, K. Anisha, S. Meruga, A. Mohamrad, Smart Road Safety and Vehicle Accidents Prevention System for Mountain Road. *International Journal from Innovative Engineering and Management Research (IJEMR)*, 2022. pp. 38-47.
8. Запуск системи автоматичної фіксації порушень Правил дорожнього руху (accessed July 19, 2023) URL: <https://hms.gov.ua/uk/ministry-projekt-hms-avtomatyzovano-fiksaciyu-porushen-pdr-zapusk-sistemi-avtomatichnoyi-fiksaciyi-porushen-pmvil-doroznyogo-ruhu-1>.
9. Shift the way you drive. Dashcam/UA (accessed July 19, 2023) URL: <https://dashcam.in.ua/>.
10. Speedometer PRO (accessed July 19, 2023) URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.mobim.android.speedometer2>.
11. R. Singh, A. Gehlot, V. Jain, P. K. Malik. Handbook of research on the internet of things applications in robotics and automation. IGI Global, 2019.
12. T. Hovorushchenko, O. Pavlova, and M. Kostjuk. "Method of Increasing the Security of Smart Parking System". *JCSANDM*, vol. 12, no. 03, pp. 297-314.

Olga Pavlova Ольга Павлова	PhD, Associated professor of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: olga1607pavlova@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-7019-0354	доктор філософії, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.
Ada Bilinska Ада Білінська	Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: bilinska.ada5@gmail.com	студентка кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.
Andrii Holovatuk Андрій Головатюк	Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: golovatukao@gmail.com	студент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.
Yaroslav Binkovskiy Ярослав Бінковський	Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: binkovskv22@gmail.com	студент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.
Denys Melnychuk Денис Мельничук	Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: deniska.melnichuk@gmail.com	студент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-22>
УДК 004.89: 004.3

БІЛІНЬСЬКА АДА
Хмельницький національний університет
e-mail: bilinska.ada5@gmail.com
БІНЬКОВСЬКИЙ ЯРОСЛАВ
Хмельницький національний університет
e-mail: binovsky22@gmail.com
ГОЛОВАТЮК АНДРІЙ
Хмельницький національний університет
e-mail: gholovatyuk@gmail.com
МЕЛЬНИЧУК ДЕНІС
Хмельницький національний університет
e-mail: deniska.melnychuk@gmail.com
ГОВОРУЩЕНКО ТЕТЯНА
Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/9009-0002-7942-1857>
e-mail: govorushchenko@gmail.com

АВТОМАТИЧНЕ ВИЯВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ПОРУШНИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В РАМКАХ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙНИМ СИТУАЦІЯМ

У сучасному світі, де темп розвитку технологій прискорюється, питання безпеки дорожнього руху залишається актуальним завданням. Автоматизація процесів і застосування новітніх технологій у сфері дорожнього руху можуть допомогти зменшити кількість ДТП та порушень правил.

Автоматичне виявлення автопорушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям є перспективним напрямком досліджень, спрямованим на забезпечення комфортного та безпечного дорожнього руху. Однак, для ефективного реалізації цієї технології, необхідно вирішити ряд технічних та організаційних питань.

У цій статті буде досліджено роль комп'ютерного зору у виявленні автомобільних порушників та розглянуто реалізацію кіберфізичних систем, спрямованих на запобігання аварійним ситуаціям на дорозі. Було розглянуто проблему покращення якості зчитування зображення для ефективного виявлення об'єктів за допомогою комп'ютерного зору для забезпечення стандартів безпеки.

Також, у статті виконано аналіз технологій, методів та проблем, пов'язаних з цим процесом. Зокрема, вивчення можливостей використання штучного інтелекту та нейронних мереж у комп'ютерному зорі для підвищення швидкості та точності виявлення порушників.

Мета дослідження – визначити переваги та перспективи подальшого розвитку систем виявлення порушників на дорозі, зокрема, їх внесок у покращення безпеки дорожнього руху та можливості використання для розвитку інтегрованих транспортних систем майбутнього для запобігання аварійним ситуаціям.

Ключові слова: автоматичне виявлення порушників, комп'ютерний зор, кіберфізична система, безпека на дорозі, аварійні ситуації, технології комп'ютерного зору, покращення якості зображення, системи виявлення порушень ПДР, безпека дорожнього руху, транспортні засоби, сенсори.

BILINSKA Ada, BINKOVSKYI Yaroslav,
HOLOVATIUK Andrii, MELNYCHUK Denis, HOVORUSHCHENKO Tetiana
Khmelnitskyi National University

AUTOMATIC DETECTION OF MOTOR VEHICLE OFFENDERS USING COMPUTER VISION AS PART OF A CYBER-PHYSICAL EMERGENCY PREVENTION SYSTEM

In today's world, where the pace of technological development is accelerating, road safety remains a pressing issue. Automation of processes and the use of the latest technologies in the field of road traffic can help reduce the number of accidents and violations of the rules. Automatic detection of motorists using computer vision as part of a cyber-physical accident prevention system is a promising area of research aimed at ensuring comfortable and safe road traffic. However, for the effective implementation of this technology, a number of technical and organizational issues need to be addressed.

This article will investigate the role of computer vision in detecting automotive offenders and consider the implementation of cyber-physical systems aimed at preventing road accidents. The problem of improving the quality of image reading for effective detection of objects using computer vision to ensure safety standards was considered.

The article also includes an analysis of the technologies, methods and issues involved. In particular, the article explores the possibilities of using artificial intelligence and neural networks in computer vision to increase the speed and accuracy of intrusion detection. The purpose of the study is to determine the advantages and prospects for further development of road violator detection systems, in particular, their contribution to improving road safety and the possibility of using them to develop integrated transport systems in the future to prevent accidents.

The article also includes an analysis of the technologies, methods and issues involved. In particular, the article explores the possibilities of using artificial intelligence and neural networks in computer vision to increase the speed and accuracy of intrusion detection. The purpose of the study is to determine the advantages and prospects for further development of road violator detection systems, in particular, their contribution to improving road safety and the possibility of using them to develop integrated transport systems in the future to prevent accidents.

Keywords: automatic detection of violators, computer vision, cyber-physical system, road safety, emergencies, computer vision technologies, image quality improvement, traffic violation detection systems, road safety, vehicles, sensors.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З кожним роком автомобільний трафік стає все інтенсивнішим, а безпека на дорогах залишається однією з найбільш актуальних проблем. Порушення правил дорожнього руху, такі як перевищення швидкості, їзда смуги без відповідних сигналів та проїзд на червоне світло, не лише ставлять під загрозу безпеку водіїв та пасажирів, але й можуть призвести до серйозних аварійних ситуацій.

Традиційні методи та системи розкриття злочинів не тільки витрачають сили та ресурси поліції, але й є вкрай неефективними. В даний час виявлення порушень ПДР в основному базується на ручних методах, а точність і швидкість роботи систем виявлення порушень транспортних засобів мають очевидні недоліки.

Завдяки швидкому розвитку технологій комп'ютерного зору та інтеграції їх у сучасні автомобілі, виникають нові можливості у сфері безпеки на дорозі. Кіберфізичні системи, що базуються на комп'ютерному зорі, дозволяють автомобілям автоматично виявляти порушення правил дорожнього руху та надавати водіямчасні попередження або навіть втручатися для запобігання аварій. Також, на основі зібраних даних існує можливість передавання інформації про порушника до правоохоронних органів.

У сучасному автомобільному виробництві кіберфізичні системи відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності дорожнього руху. Кіберфізичні системи представляють собою інтеграцію фізичних компонентів, таких як датчики, актуатори та регулюючі пристрої, з програмним забезпеченням, що забезпечує обробку даних та прийняття рішень в реальному часі.

Одним з основних завдань кіберфізичних систем у автомобільній промисловості є підвищення безпеки на дорозі шляхом розробки та впровадження різноманітних систем попередження аварійних ситуацій та їх уникнення. Ці системи включають в себе системи антиблокування гальм, системи контролю стабільності, системи попередження зіткнень, системи автоматичного розпізнавання дорожніх знаків, сигналів світлофора, світлових сигналів інших автомобілів та інші [1].

Завдяки постійно розвиваючимся сенсорів, таких як радары, камери та лазерні сканери з потужними обчислювальними системами, кіберфізичні системи можуть аналізувати навколишнє середовище, виявляти потенційні загрози та надавати водіямчасні попередження або навіть автоматично керувати автомобілем для уникнення аварій.

Технологія комп'ютерного зору може своєчасно і точно аналізувати та розуміти зібрані дані із зображення, швидко розпізнавати об'єкти на зображенні та часно виявляти порушення. Завдяки технології візюальної людини та комп'ютера, інформація з автоматичних систем може об'єднуватися для багаторазового виявлення порушень транспортних засобів. Це зменшує проблеми, викликані несправністю одного датчика або помилковими спрацюваннями, роблячи систему виявлення більш точною, надійною та стійкою до збоїв.

Порушення правил дорожнього руху є однією з основних причин дорожньо-транспортних пригод і створює серйозну загрозу безпеці життя та майна людей. Завдяки взаємодії людини з комп'ютером і комп'ютерним зором автоматичні системи виявлення порушень транспортних засобів можуть своєчасно виявляти порушення, зменшувати ймовірність дорожньо-транспортних пригод і підвищувати безпеку руху.

Водночас, порушення спричиняють затори та затримки, впливаючи на ефективність пересування людей та комфорт подорожей. Тому, впровадження автоматичних систем виявлення порушень транспортних засобів можуть зменшувати кількість порушень, згладити рух транспорту та зменшити проблеми заторів у містах.

Розгляд існуючих рішень

У сучасний період часу автотранспорт виступає ключовим засобом переміщення людей. На жаль, транспортні засоби не лише додають комфорту в повсякденне життя, але й підвищують ймовірність аварій та порушень правил дорожнього руху. Вирішення цієї проблеми, що привертала увагу численних дослідників, може бути досягнуте за допомогою систем запобігання аварійним ситуаціям [2].

Під час розроблення власної системи було проаналізовано вже існуючі дослідження. В одному розглянутому рішенні було запропоновано систему відоспостереження за дорожнім рухом, яка автоматично керує світлофорами та виявляє аварії. Використовують гібридний медіанний фільтр та гібридну векторну машину підтримки для обробки відео та відстеження транспортних засобів. Система виявляє щільність руху, переклюкає світлофори для екстрених служб та використовує нейронні мережі для виявлення прибуття швидкої допомоги. Результати вказують на покращення ефективності управління та ідентифікації аварій в реальному часі [3].

У наступній вивченій статті дослідники пропонують систему інтелектуального управління сигналом дорожнього руху, зокрема бачо адаптацію до бездротових технологій через виявлення транспортних засобів за допомогою бездротового зв'язку. Автори описали алгоритм з використанням підходу із поділенням на частини для ефективного керування дорожніми сигналами в умовах обмеженого виявлення транспортних засобів. Ефективність системи вимірюється при різних умовах, таких як потоки автомобілів та рівень виявлення,

покращуючи здатність системи скорочувати час очікування транспортних засобів на перехресті та поліпшувати рух на дорозі [4].

У іншій статті досліджується автоматизована система виявлення порушень правил дорожнього руху. Використовуючи камери відеоспостереження, система запікує дорожній рух та застосовує genetic algorithm (GA) для виявлення порушень. Процес включає в себе відняття фону, використання технології Haar для виявлення транспортних засобів та оптимізацію вхідних даних Genetic algorithm для створення ефективних правил виявлення порушень. Мета полягає в досягненні найбільш оптимального набору правил [5].

У ще одній статті розглядаються проблеми контролю за порушеннями правил дорожнього руху, зокрема через недостатність фізичного моніторингу та великі обсяги трафіку. В ній подано систему, яка використовує Yolo-v4 у комплексі з DeepSORT для виявлення порушень та Yolo-v4 у комплексі з Tesseract для розпізнавання номерних знаків. Зазначено високу точність системи в тестових сценаріях, що підтримує ідею використання штучного інтелекту для автоматизації видачі штрафів та поліпшення безпеки дорожнього руху [6].

В загальному було проведено порівняльну характеристику існуючих досліджень і наведено результати в таблицю 1.

Загалом, дослідження, спрямовані на виявлення порушень транспортних засобів, дали певний результат, але є певні недоліки у точності виявлення, які можна було б поліпшити. Також, подані системи функціонують за допомогою камер, які розміщено безпосередньо на певних ділянках доріг. Це є ефективним лише на цих ділянках, ігноруючи більшу частину дороги. Система, запропонована у даній статті, буде встановлюватись всередину автомобіля, що забезпечує ефективне виявлення порушень на усьому маршруті транспортного засобу. У випадку масового використання, система може покрити дуже велику частину автомобільних доріг, збільшуючи безпеку усіх учасників руху.

Алгоритми роботи системи виявлення автомобільних порушень

Майбутня система виявлення правопорушників має взаємодіяти з іншими системами в загальній структурі забезпечення аварійних ситуацій. Так як для ідентифікації зловідь потрібно, щоб система могла ідентифікувати пішоходів, автомобілів, дорожні знаки, дорожні смуги та сигнали світлофорів. Було складено загальний алгоритм роботи системи, який представлено на рис. 1.

Таблиця 1.

Порівняння параметрів існуючих рішень.

Параметри	Джерело			
	[3]	[4]	[5]	[6]
Використані технології	Гібридний експертний фільтр, гібридна векторна машина, підтримка, нейронні мережі	Бездротові технології, підтримане навчання	Камери відеоспостереження, технологія Haar, Genetic algorithm	Yolo-v4, DeepSORT, Tesseract
Застосування	Відеоспостереження за дорожнім рухом, автоматичне керування світлофорами, виявлення аварій	Адаптація сигналів дорожнього руху до бездротових технологій, ефективне керування сигналами	Виявлення порушень правил дорожнього руху за допомогою Genetic algorithm	Виявлення порушень правил дорожнього руху, розпізнавання номерних знаків
Особливості	Гібридні фільтри та машини для обробки відео, використання нейронних мереж для виявлення грібутья швидкої допомоги	Використання підтриманого навчання для ефективного управління дорожніми сигналами	Застосування Genetic algorithm для виявлення порушень та оптимізації правил	Використання Yolo-v4 та DeepSORT для виявлення порушень, Yolo-v4 та Tesseract для розпізнавання номерних знаків
Результати	Покращення управління та ідентифікації аварій в реальному часі	Скорочення часу очікування на перехресті та поліпшення руху	Створення ефективних правил виявлення порушень за допомогою Genetic algorithm	Висока точність в тестових сценаріях, можливість автоматизації видачі штрафів та поліпшення безпеки дорожнього руху

Система виявлення автомобільних порушень включає наступні етапи:

1) Захоплення зображення: Система починає свою роботу з захоплення зображення з встановлених у автомобілі камер.

2) Передобробка зображення: Отримане зображення піддається передобробці, яка включає в себе зменшення шуму, підвищення контрастності та інші операції для покращення якості зображення.

3) Виявлення дорожніх об'єктів: Система використовує алгоритми комп'ютерного зору для виявлення дорожніх об'єктів на зображенні, таких як автомобілі, дорожні знаки, пішоходи тощо. Даний етап виконується за допомогою інших підсистем системи запобігання аварійних ситуацій. До них відносяться підсистеми розпізнавання дорожніх знаків, сигналів світлофора та автомобілів (частина функціоналу підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями).

3) Відслідковування об'єктів: Після виявлення дорожніх об'єктів система відстежує їх рух та маршрут. Це може бути важливо для визначення траєкторії руху та передбачення майбутніх дій об'єктів.

4) Класифікація об'єктів: Отримані дані про об'єкти аналізуються для визначення, чи відбувається порушення правил дорожнього руху. Цей етап включає в себе використання класифікаторів, які можуть розрізняти різні види порушень, такі як перевищення швидкості, проїзд на червоне світло, тощо.

5) Виявлення порушень: Якщо система виявляє порушення, вона здійснює відповідні дії, а саме надсилає попередження водіви.

6) Зане і аналіз даних: Система занеє дані про порушення та порушника для подальшого аналізу та використання у випадку, якщо вони будуть потрібні для подальшої обробки або судового розгляду.

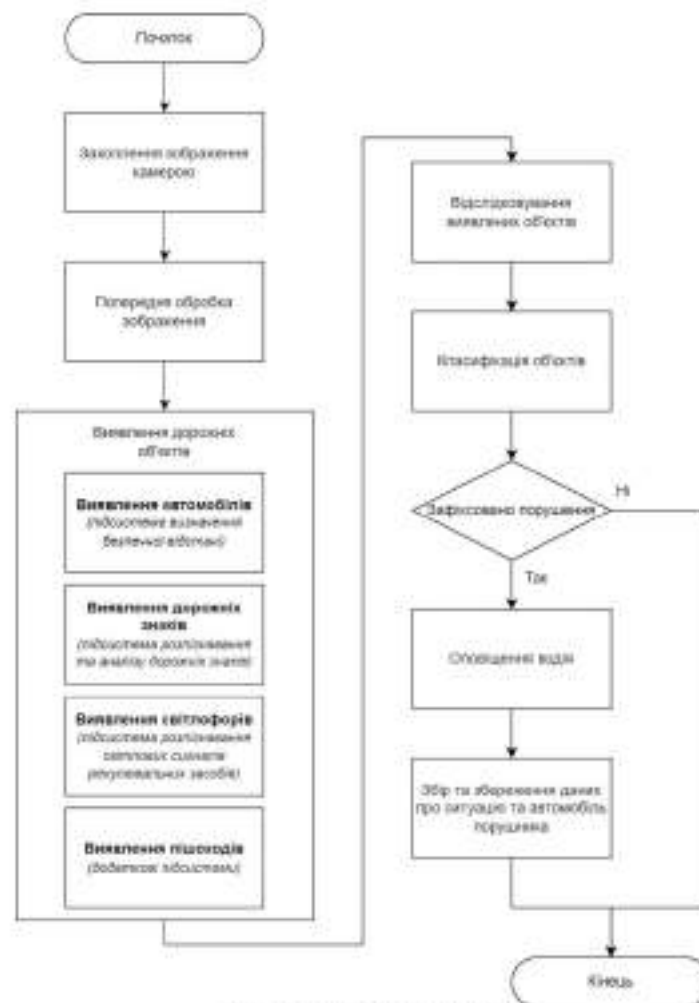


Рис. 1. Алгоритм роботи підсистем
Комп'ютерний зір в автоматизованих системах безпеки на дорозі

Комп'ютерний зір представляє собою галузь штучного інтелекту, яка вивчає алгоритми та методи для розпізнавання та розуміння зображень та відео. У сфері безпеки на дорозі комп'ютерний зір може бути використаний для реалізації систем виявлення та реагування на автомобільні порушення.

Основні етапи роботи систем комп'ютерного зору включають завантаження зображення або відео з встановлених камер, обробку отриманих даних для виявлення об'єктів та їх класифікації, а також прийняття відповідних рішень на основі отриманих результатів.

Застосування комп'ютерного зору у системах безпеки на дорозі включає в себе розпізнавання дорожніх знаків, виявлення пішоходів та велосипедистів, а також виявлення порушень правил дорожнього руху, таких як перевищення швидкості, проїзд на червоне світло та інші.

Для реалізації цих функцій системи комп'ютерного зору використовують різноманітні методи та алгоритми, включаючи машинне навчання, глибоке навчання та обробку сигналів. Вони дозволяють системам автоматично аналізувати великий обсяг даних та виявляти порушення з високою точністю та швидкістю.

Автоматичне виявлення автомобільних порушень є важливою складовою кіберфізичних систем безпеки на дорозі.

Для автоматичного виявлення порушень правил дорожнього руху системи комп'ютерного зору використовують алгоритми обробки зображень та машинного навчання. Зображення, отримані з камер, піддаються аналізу для виявлення об'єктів інтересу, таких як автомобілі, дорожні знаки та сигнали світлофора. Після цього застосовуються алгоритми класифікації для визначення того, чи відбувається порушення правил дорожнього руху.

Одним із ключових викликів у розробці таких систем є підвищення точності виявлення порушень та зниження кількості помилок. Для досягнення цієї мети використовуються техніки глибокого навчання та нейронні мережі, які можуть ефективно виявляти та класифікувати об'єкти на зображеннях з високою точністю.

Завдяки автоматичному виявленню порушень правил дорожнього руху, системи безпеки на дорозі можуть надавати водіям вчасні попередження та надають можливість користувачам передати інформацію про порушення до правоохоронних органів, використовуючи записані матеріали.

Покращення якості зображення

Колірні зображення автомобілів ресетруються та передаються цифровими закодами, виникають численні труднощі, пов'язані з впливом обладнання та зовнішніх факторів, які відображаються у вигляді шумових ефектів на отриманих зображеннях. Суттєвий внесок у цей ефект робить піксельні блоки або елементи, які з'являються на зображенні раптово та не передбачено, представляючи собою прояв цього шуму.

У зазначеному контексті важливо зазначити, що негативний вплив шумів на зображення автомобілів може викликати різке погіршення якості, роблячи зображення не чітким та менш інформативним. Тому необхідно застосовувати методи фільтрації для подолання цього ефекту.

Метод середньої фільтрації виявляється ефективним рішенням для цієї задачі. Згідно з математичним виразом, він спирається на розрахунок середнього значення градацій сірого шуму для пікселя, замінюючи це значення середнім значенням усіх його сусідніх пікселів. Це призводить до вирівнювання значень та зменшення впливу шумових ефектів на окремі пікселі, покращуючи зовнішній вигляд зображення. Математичний вираз для цього виглядає наступним чином:

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in \mathcal{N}} f_{(x,y)}(x-i, y-j), \quad [1]$$

де \mathcal{N} – це набір усіх найближчих пікселів, визначений точково (x,y) , N представляє кількість найближчих пікселів, визначену (x, y) точками, $f_{(x,y)}$ представляє значення градацій сірого вихідного зображення в точках (x, y) , тоді як $G(x, y)$ представляє значення градацій сірого зображення після середньої фільтрації для пікселя.

Наступним кроком було проведено порівняння ефектів середньої фільтрації на вихідному зображенні. У процесі порівняльного аналізу реальне зображення (рис. 2), яке відображає реальні умови, порівнюється із зображеннями, де до реального шуму додані зернистість та пилоровий шум (рис. 3). Після застосування методу середньої фільтрації відбувається пом'якшення чи видалення шуму, що виражається покращенням чіткості та деталізації зображення (рис. 4).

Цей аналіз охоплює кілька аспектів, включаючи якість відтворення деталей, зменшення шуму та збереження кольорів. Він служить об'єктивною мірою ефективності методу середньої фільтрації в умовах, де автомобільні зображення супроводжуються різноманітними шумовими артефактами.

На оригінальному знімку (рис. 2) автомобіля в реальних умовах виявляються деталі та контури з високою передачею кольорів. Однак, ймовірно, наявні шуми та невеликі артефакти, спричинені випадковими факторами, можуть обмежувати чіткість зображення та впливати на його загальний вигляд.



Рис. 2. Оптимізоване зображення

Після введення штучної зернистості та пазерового шуму на зображення виникає ефект випадкових блоків та точок (рис. 3). Це може створювати враження низької якості та викликати втрату деталей на зображенні, внаслідок випадкової появи пікселів, які виглядають як артефакти.

Після використання методу середньої фільтрації спостерігається помітне підвищення якості зображення (рис. 4). Шуми, які раніше були внесені, видаляються або пом'якшуються, внаслідок чого зображення стає більш чітким і зберігає більше деталей. Кольори залишаються природними, а контури стають більш визначеними, що сприяє направленню впливу шумових ефектів.

Таким чином, в порівнянні з реальним та штучно з'яксованим шумом зображенням, застосування методу середньої фільтрації суттєво покращує якість та чіткість зображення, зменшуючи вплив шуму та підвищуючи його інформативність.

Погодні умови та прозорість відеокamera можуть значно впливати на якість отриманих зображень. Таким чином, удосконалення контрастності кадрів відеозображень з порушеннями транспортних засобів стає критично важливою задачею. Однією з можливих труднощів є те, що деякі області на зображенні мають меншу інтенсивність пікселів, що може призводити до нечіткості деталей. Для вирішення цього питання можна використовувати метод вирівнювання гистограми, який сприяє нормалізації гистограми цільового зображення. Цей метод є ефективним та простим у використанні і широко використовується для покращення якості зображень. У даній системі планується у майбутньому використати даний метод для підвищення якості порівняння зображень.

Суть вирівнювання гистограми полягає в розширенні діапазону значень відтінків сірого, використовуючи більше пікселів при обробці зображення та об'єднуючи значення градієнтів сірого. Це призводить до покращення контрастності та чіткості зображення. На рисунках 5 та 6 представлені зображення до та після вирівнювання гистограми, разом із відповідними гистограмами, демонструючи вплив цього методу на якість зображень транспортних засобів.

Починаючи зі оригінального зображення, помітно, як розширення діапазону значень відтінків сірого призводить до покращення контрастності та чіткості деталей. Зони з меншою інтенсивністю пікселів, які раніше виглядали нечіткими, стають більш визначеними та виділяються чітко на фоні.



Рис. 3. Зображення після додання контрастності та видалення шуму



Рис. 4. Зображення після середньої фільтрації

Актуалізація параметрів чи правил навчання становить необхідну складову в процесі машинного навчання, яка описує, як модель адаптує свої внутрішні параметри для оптимізації продуктивності при роботі з новими даними. У випадку контрольованого навчання цей процес часто включає у себе мінімізацію функції втрат, яка вимірює відмінність між прогнозами моделі та фактичними мітками. Для системи виявлення порушень на транспортних засобах ці мітки вказують на присутність порушень та їхній характер на зображеннях. Професійні анотатори або команди використовуються для позначення зібраних зображень.

транспортних засобів. Процес маркування повинен відповідати уніфікованим критеріям, щоб забезпечити точність кожного етикету. Для забезпечення точності анотації дані можуть бути випадково вибрані та перевірені для виявлення та усунення можливих помилок.

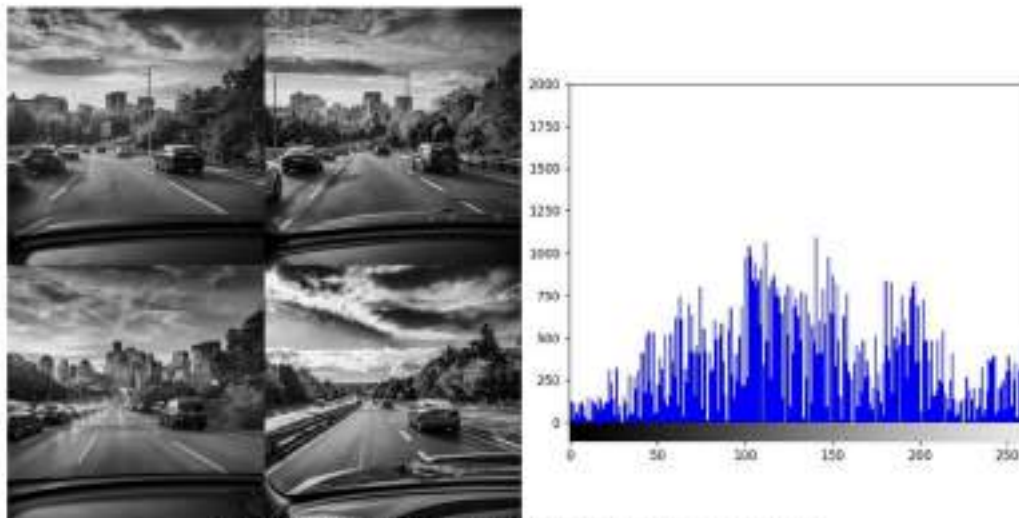


Рис. 5. Оригінальні зображення у візних сітках та відповідні гістограми

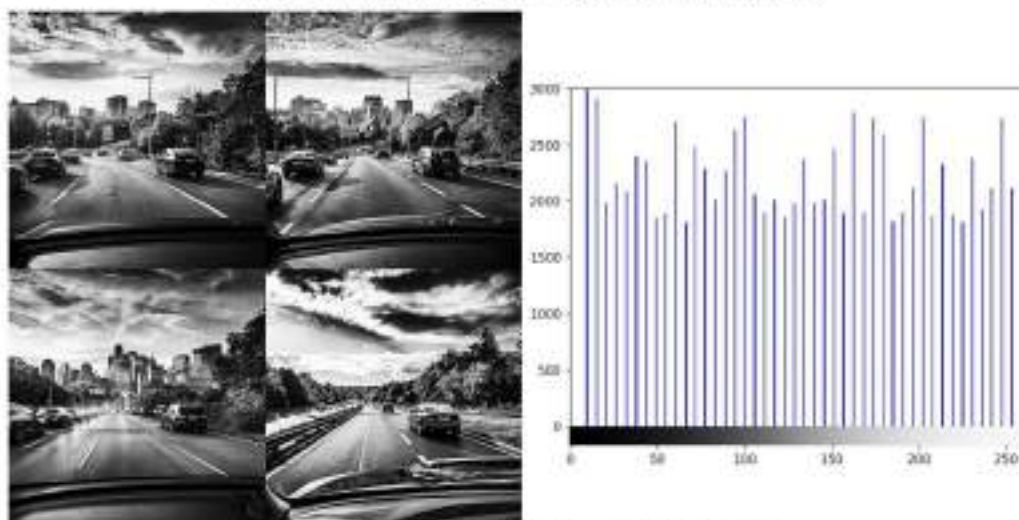


Рис. 6. Зображення та гістограми після вирівнювання гістограм

Складення списку порушень

Дана підсистема розрахована на певний перелік порушень, які вона може розпізнати. Нижче наведено список даних порушень:

1) **Перевищення швидкості:** Система виявляє транспортні засоби, які рухаються зі швидкістю, що перевищує встановлені обмеження. Це може включати виявлення транспортних засобів, які рухаються з великою швидкістю на автострадах, в міських зонах або в інших областях з обмеженою швидкістю. Дані збираються на основі швидкості руху автомобіля потенційного порушника та виявлених знаків обмеження швидкості;

2) **Рух без увімкнених фар:** Система виявляє транспортні засоби, які рухаються без увімкнених фар в умовах низької видимості, наприклад, вночі або при поганих погодних умовах. Це може бути небезпечним для інших учасників дорожнього руху та може призвести до аварій;

3) **Порушення меж дорожньої розмітки:** Система виявляє транспортні засоби, які перетинають межі смуги руху без використання сигналів повороту, без необхідного обґрунтування або у невідповідному місці (перетин сучільних смуг, тощо);

4) **Порушення правил проїзду світлофора:** Система виявляє транспортні засоби, які проїжджають перехрестя при червоному світлі світлофора. Це може бути небезпечно для інших учасників дорожнього руху та призвести до серйозних аварій;

5) **Рух в забороненому напрямку:** Система виявляє транспортні засоби, які рухаються в забороненому напрямку (по зустрічній смузі руху). Це може призвести до зіткнень та серйозних наслідків для безпеки на дорозі;

6) **Порушення правил обгону:** Система виявляє транспортні засоби, які обганяють інші автомобілі в небезпечних місцях, де це заборонено правилами дорожнього руху;

7) **Порушення правил паркування:** Система виявляє транспортні засоби, які паркуються в заборонених місцях або перешкоджають руху інших автомобілів, що може призвести до перешкод для учасників дорожнього руху;

8) **Ігнорування дорожніх знаків:** Система виявляє випадки, коли водії ігнорують важливі дорожні знаки та вказівки, такі як заборона обгону, зупинка, обмеження швидкості та знаки пріоритету;

9) **Порушення правил руху через залізничний переїзд:** Система виявляє транспортні засоби, які переїжджають залізничний переїзд, коли це заборонено. Це може призвести до небезпечних ситуацій та аварій на дорозі;

10) **Порушення правил проїзду пішохідних переходів:** Система виявляє випадки, коли водії проїжджають пішохідний перехід в той момент, коли пішоходи переходять дорогу на зелене світло або мають перевагу за правилами дорожнього руху.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У результатах цієї роботи було детально розглянуто роль системи виявлення порушень правил дорожнього руху на основі комп'ютерного зору у підвищенні безпеки на дорозі. Застосування комп'ютерного зору у системах безпеки на дорозі дозволяє ефективно виключити резонансні порушення, такі як перевищення швидкості, рух без ввімкнених фар, порушення меж дорожньої розмітки та багато інших, що сприяє зменшенню аварійності та збереженню людських життів.

Застосування таких систем сприяє покращенню загальної безпеки на дорозі та зменшенню кількості аварійних ситуацій. Подальші дослідження та розробки цих технологій можуть призвести до їх більш широкого впровадження та забезпечити вищий рівень безпеки для всіх учасників дорожнього руху.

Новизна автоматизованої системи виявлення порушень транспортних засобів, що базується на взаємодії людини з комп'ютером і комп'ютерним зором, представлена рядом ключових аспектів:

1) **Інтегроване використання технологій взаємодії людини з комп'ютером і комп'ютерним зором:** Система об'єднує функції взаємодії людини з комп'ютером та комп'ютерним зором, створюючи можливість не лише автоматичного виявлення та ідентифікації порушень, але й надання інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу моніторингу для управління дорожнього руху. Це сприяє ефективній взаємодії людини і машини.

2) **Акцент на зручному дизайні:** Особлива увага приділяється зручному дизайну, що відрізняється від традиційних систем моніторингу. Завдяки технології взаємодії людина-комп'ютер користувачі можуть інтуїтивно сприймати інформацію про порушення, швидко реагуючи на неї. Це значно поліпшує ефективність та зручність управління трафіком;

3) **Динамічне налаштування та адаптивне навчання:** Система має можливість динамічного налаштування та адаптивного навчання, а також автоматично регулює режим роботи відповідно до різних умов і середовищ. Це гарантує точність виявлення порушень. Крім того, система постійно покращує свої навички виявлення через постійний процес навчання і самокорекції.

Література

1. Hovorushchenko T. Road Accident Prevention System / T. Hovorushchenko, O. Pavlova, Y. Binkovskiy, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk // In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). IEEE. – 2023. – Pp. 1-7.
2. Sahraoui Y. DeepDist: a deep-learning-based IoV framework for real-time objects and distance violation detection / Y. Sahraoui, C. A. Kertache, A. Korichi, B. Nour, A. Adnane, R. Hussain // IEEE Internet Things Magaz. – 2021. – Vol. 33. – Pp. 30-34.
3. Maha Vishnu V.C. Intelligent traffic video surveillance and accident detection system with dynamic traffic signal control / V.C. Maha Vishnu, M. Rajalakshmi, R. Nedunchezian // Cluster Comput. – 2018. – Vol. 215. – Pp. 135-147.
4. Zhang R. Using reinforcement learning with partial vehicle detection for intelligent traffic signal control / R. Zhang, A. Ishikawa, W. Wang, B. Striner, O.K. Tonguz // IEEE Trans. Intellig. Transport. – 2020. – Pp. 404-415.

5. Bhat A.T. Traffic violation detection in India using genetic algorithm / A.T. Bhat, M.S. Rao, D.G. Pai // *Glob. Trans. Proc.* – 2021. – Vol. 2(2). – Pp. 309–314.
6. Charran, R. S. Two-Wheeler Vehicle Traffic Violations Detection and Automated Ticketing for Indian Road Scenario. / R. S.Charran, R. K. Dubey // *IEEE Trans. Intellig. Transport. Syst.* – 2022. – Pp. 22002–22007.

References

1. T. Hovonashchenko, O. Pavlova, Y. Binkowskyi, A. Bilinska, A. Holovoniak, D. Melnychuk. Road Accident Prevention System // In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). IEEE. – 2023. – Pp. 1-7.
2. Y. Sahasani, C. A. Keraiche, A. Korichi, B. Nour, A. Adnane, R. Hussain. DeepDist: a deep-learning-based IoT framework for real-time objects and distance violation detection // *IEEE Internet Things Magaz.* – 2021. – Vol. 13. – Pp. 30–34.
3. V.C. Maha Videm, M. Rajalakshmi, R. Nedunchezian. Intelligent traffic video surveillance and accident detection system with dynamic traffic signal control // *Cluster Comput.* – 2018. – Vol. 215. – Pp. 135–147.
4. R. Zhang, A. Ishikawa, W. Wang, B. Striner, O.K. Tonguz. Using reinforcement learning with partial vehicle detection for intelligent traffic signal control // *IEEE Trans. Intellig. Transport.* – 2020. – Pp. 404–415.
5. A.T. Bhat, M.S. Rao, D.G. Pai. Traffic violation detection in India using genetic algorithm // *Glob. Trans. Proc.* – 2021. – Vol. 2(2). – Pp. 309–314.
6. R. S.Charran, R. K. Dubey. Two-Wheeler Vehicle Traffic Violations Detection and Automated Ticketing for Indian Road Scenario. // *IEEE Trans. Intellig. Transport. Syst.* – 2022. – Pp. 22002–22007.

УДК 004.89: 004.3

А. Є. БІЛІНСЬКА
Хмельницький національний університет
e-mail: bilinska_ada5@gmail.com

Я. В. БІНЬКОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет
e-mail: binkovsky22@gmail.com

А. О. ГОЛОВАТЮК
Хмельницький національний університет
e-mail: golovatiukao@gmail.com

Д. Р. МЕЛЬНИЧУК
Хмельницький національний університет
e-mail: deniska.melnychuk@gmail.com

Т. О. ГОВОРУЩЕНКО
Хмельницький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>
e-mail: tat_yana@ukr.net

АНАЛІЗ ДАНИХ ДЛЯ ПІДТРИМКИ АВТОМАТИЧНОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВОДІЯ ДЛЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙНИМ СИТУАЦІЯМ

У сучасному світі безпека на дорозі залишається однією з найважливіших тем, оскільки автомобільні аварії щорічно призводять до тисяч травматичних та загибелі. Одним із ключових аспектів у запобіганні аварійним ситуаціям є система попередження водія про можливі небезпеки на дорозі. Важливо розглянути роль попереджувальних сповіщень для водія на їх вплив на загальний рівень безпеки на дорозі.

У цій статті розглядається можливість попереджувальних сповіщень для водія як одного з важливих елементів для забезпечення безпеки дорожнього руху. Незахищеність сповіщень попередити водія про можливі проблеми з автомобілем та інші небезпечні ситуації може призвести до виникнення серйозних наслідків, каталітично впливаючи на безпеку.

Було розглянуто багато різних причин, що призводять до небезпечних ситуацій на дорозі, таких як порушення або недотримання правил дорожнього руху, зміна погодних умов і технічні проблеми автомобіля. У відповідь дослідження можна зробити, що індивідуальний аналіз відеоданих від підсистем автомобіля та відображення цих даних на екрані користувацької інтерфейсу можуть уникнути небезпечних ситуацій та підвищити безпеку під час використання транспортного засобу.

Метою даної статті є розкриття основних аспектів аналізу даних для підтримки автоматичного попередження водія на відомому рівні про те, як кіберфізичні системи можуть оптимізувати безпеку на дорозі на існуючому рівні оптимізації аварійних ситуацій.

Ключові слова: безпека на дорозі, аварійні ситуації, попередження водія, кіберфізична система, аналіз даних, оптимізація попередження, дорожній рух, попереджувальні сповіщення, технічні проблеми автомобіля, правила дорожнього руху, відеодані, безпека дорожнього руху, розпізнавання, небезпечні ситуації, індивідуальний аналіз даних, оптимізація безпеки, рівень аварій, транспортний засіб.

A. Y. BILINSKA, Y. V. BINKOVSKYI, A. O. HOLOVATYUK, D. R. MELNYCHUK, T. O. Hovorushchenko
Khmelnitskyi National University

DATA ANALYSIS TO SUPPORT AUTOMATIC DRIVER WARNINGS FOR A CYBER-PHYSICAL ACCIDENT PREVENTION SYSTEM

Abstract – In today's world, road safety remains one of the most pressing issues, as car accidents result in thousands of injuries and deaths every year. One of the key aspects of preventing accidents is a system that warns drivers of possible hazards on the road. It is important to consider the role of warning messages for drivers and their impact on the overall level of road safety.

This article discusses the importance of driver warnings as one of the essential elements of road safety. Failure to warn the driver in a timely manner about possible vehicle problems and other dangerous situations can lead to serious consequences, including accidents and injuries.

Many different reasons were considered that could lead to dangerous situations on the road, such as breaking or not following traffic rules, changes in weather conditions, and technical problems with the vehicle. As a result of the research, it can be understood that quick analysis of input data from vehicle subsystems and display of this data on the screen to the user will help to avoid undesirable situations and increase safety while using the vehicle.

The purpose of this article is to reveal the main aspects of data analytics to support automatic driver warnings and provide insight into how cyber-physical systems can improve road safety and reduce the risk of accidents.

Keywords: road safety, emergency situations, driver warning, cyber-physical system, data analysis, automatic warning, traffic, warning notifications, vehicle technical problems, traffic rules, input data, road safety, recognition, dangerous situations, rapid data analysis, hazard assessment, accident risk, vehicle.

Вступ

У сучасному світі зростає значення розробки та впровадження кіберфізичних систем, які послужать фізичні процеси з інформаційними та комунікаційними технологіями для покращення ефективності та безпеки. Одним з найважливіших аспектів є безпека на дорозі, оскільки автомобільні аварії можуть призвести до серйозних наслідків для життя та майна.

У цьому контексті системи автоматичного попередження водіїв про потенційно небезпечні ситуації набувають все більшої актуальності. Ці системи базуються на аналізі великого обсягу даних, зібраних з різних датчиків, вбудованих у автомобілі. Це комплексний процес, який вимагає поєднання різних технологій та методів, що своєчасно і ефективно буде сповіщати водіїв про небезпеку, надавати достатню кількість інформації про ситуацію на дорозі та допомагати їм приймати правильні рішення за кермом.

Мета цієї наукової статті - дослідити методи аналізу даних для підтримки автоматичного попередження водіїв у кіберфізичній системі запобігання аварійним ситуаціям.

Проблеми безпеки на дорозі можуть виникати з різних причин, включаючи порушення правил дорожнього руху, технічної несправності автомобілів, зміни погодних умов та інші фактори. Наприклад, водії, які не дотримуються швидкісного режиму, здійснюють неправильний об'їзд або використовують мобільні телефони за кермом, підвищують ризик аварій та травматизму. З іншого боку, несправності в автомобільній техніці, такі як проблеми з гальмами, рульовим управлінням або освітленням, можуть призвести до неочікуваних ситуацій та аварій. Відсутність попереджувальних сповіщень для водіїв під час виникнення проблем з автомобілем можуть призвести до серйозних наслідків. Завдяки належному інформуванню водіїв про потенційно небезпечні ситуації на дорозі, у них з'являється можливість своєчасно реагувати та уникати можливих аварій.

Інформування водіїв про небезпеку включає в себе не лише розпізнавання проблем, але й передачу водіям відповідної інформації для прийняття ефективних дій. У разі виявлення технічних несправностей автомобіля, завчасне сповіщення водія може дозволити йому зупинити транспортний засіб у безпечному місці та вжити необхідні заходи для вирішення проблеми.

Важливо розробити та створити комплексну кіберфізичну систему запобігання аварійним ситуаціям, яка буде мати здатність зчитувати дані з різних підсистем автомобіля, включаючи визначення швидкості та відстані до автомобіля попереду, розпізнавання дорожніх знаків та світлових регульованих сигналів, визначення технічного стану автомобіля з вбудованих та додатково встановлених датчиків, проводити аналіз цих даних для виявлення потенційних небезпек та автоматично інформувати водія про можливі проблеми [1].

Огляд існуючих методів та технологій

Для досягнення цілей автоматичного попередження водіїв про потенційно небезпечні ситуації існують різні методи та технології, які використовуються у кіберфізичних системах запобігання аварійним ситуаціям. Нижче наведено огляд основних підходів:

1) Використання датчиків та камер:

- **Радари:** Радари використовуються для вимірювання відстаней та швидкостей інших об'єктів навколо автомобіля. Вони можуть виявляти перешкоди на шляху та надавати інформацію про їх розташування та рух.

- **Лідари:** Лідари використовуються для створення точної тривимірної карти навколишнього середовища. Вони вимірюють відстань до об'єктів шляхом відправлення і приймання лазерних променів.

- **Відеокамери:** Відеокамери здатні розпізнавати та відслідковувати об'єкти, розташовані в області видимості автомобіля. За допомогою комп'ютерного зору та алгоритмів обробки зображень, вони можуть виявляти транспортні засоби, дорожні знаки, сигнали світлофору, пішоходів та інші об'єкти на дорозі.

2) Машинне навчання та аналіз даних:

- **Класифікація об'єктів:** Методи машинного навчання, такі як нейронні мережі та методи класифікації, використовуються для ідентифікації різних типів об'єктів на дорозі, таких як інші автомобілі, дорожні знаки, сигнали світлофору, пішоходи, тощо.

- **Прогнозування ризику:** Алгоритми аналізу даних можуть прогнозувати ризик виникнення аварійних ситуацій на основі історичних даних та поточних умов дорожнього руху.

3) Комунікація між автомобілями та інфраструктурою:

- **V2V комунікація:** V2V (Vehicle-to-Vehicle) технологія дозволяє автомобілям обмінюватися інформацією про своє місцезнаходження, швидкість та напрямок руху. Це дозволяє виявляти та уникати потенційно небезпечних ситуацій.

- **V2I комунікація:** V2I (Vehicle-to-Infrastructure) технологія передачі даних між автомобілями та інфраструктурою дороги дозволяє автомобілям отримувати інформацію про дорожні умови, світлофори, дорожні знаки та інші параметри, які можуть впливати на безпеку на дорозі.

4) Системи попередження про відволікання водія:

- **Вимірювання фізіологічних параметрів водія:** Деякі системи використовують датчики для вимірювання фізіологічних параметрів водія, таких як частота пульсу та рівень зосередженості. На підставі цих даних можуть генеруватися аудіо або візуальні сигнали попередження про відволікання водія.

Під час роботи над підсистемою аналізу даних для підтримки автоматичного попередження водія для кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям на дорозі було розглянуто декілька статей інших авторів [2-5]. Усі розглянуті роботи занесено в таблицю 1. У ній вказано запропоновані авторами методи та оцінено переваги та недоліки кожного з них.

Таблиця 1.

Огляд існуючих рішень.

Назва статті	Запропоновані методи	Переваги	Недоліки
Визначення переваг безпеки за допомогою аналізу ризику зіткнення між транспортними засобами з використанням даних підключених систем автомобіля [2]	Метод аналізу індексу потенційної аварійності (CPI), який дозволяє кількісно оцінити потенційні ризики аварій.	CPI дозволяє чисельно виразити ризик аварій у вигляді індексу, використовує дані, зібрані в реальних умовах, що дозволяє зробити дослідження більш достовірними, дозволяє ідентифікувати ділянки доріг, де присутні проблеми.	Точність результатів CPI аналізу залежить від точності даних, отриманих з датчиків руху та систем ADAS, аналіз може вимагати значних обчислювальних ресурсів, в залежності від обсягу даних.

Назва статті	Запропоновані методи	Переваги	Недоліки
Аналіз доступності на основі даних для реконфігурації систем управління транспортними засобами [3].	Метод аналізу досвідності на основі даних, який застосовується до стратегії реконфігурації.	Великі обсяги даних, зібрані від автономних засобів, дозволяють зробити аналіз більш точним, використання алгоритмів машинного навчання дозволяє розробляти ефективні стратегії управління.	Точність та повнота даних може кардинально вплинути на результат аналізу, може потребувати багато обчислювальних ресурсів при великому обсязі даних, використання машинного навчання може вимагати спеціалізованої експертності.
Прогнозування дорожньо-транспортних пригод за допомогою аналізу даних із підтримкою машинного навчання [4].	Використання методів класифікації, таких як дерева рішень, випадковий ліс, найпростіший метод Байєса та регресія для аналізу та підвищення ефективності прогнозування ДТП.	Методи дерев рішень, випадковий ліс та регресія проявляють високу точність у передбаченні тяжкості аварій. Ці алгоритми ефективно працюють з великими обсягами даних і виявляються високоефективними для багаторівневих класифікацій.	Метод найпростішого Байєса характеризується низькою точністю передбачення (менше 20%) і може виявитися недоцільним для певних наборів даних.
Інтелектуальні системи безпеки руху(ІСБР) [5].	Аналіз даних з датчиків за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту.	Ефективне використання даних дозволяє системам ефективно аналізувати великі обсяги даних і виявляти патерни порушень правил дорожнього руху. ІСБР можуть піддатися постійній модернізації та оновленню алгоритмів для покращення їхньої ефективності та реакції на нові ситуації на дорогах.	Приватність і безпека даних: Збір та обробка великої кількості особистих даних водіїв може породжувати проблеми з приватністю та безпекою цих даних. Недосконалість алгоритмів: ІСБР можуть мати недоліки або пропускати певні типи порушень або ситуацій на дорозі.

Методи аналізу даних

Для підтримки автоматичного попередження водія про потенційно небезпечні ситуації на дорозі застосовуються різні методи аналізу даних, які дозволяють системі аналізувати інформацію з різних джерел та приймати відповідні рішення. Нижче детальніше описано деякі з методів, що використовуються у даній системі:

1) Машинне навчання. Використання нейронних мереж дозволяє системі вивчати складні залежності між різними факторами, які можуть призводити до аварійних ситуацій. Наприклад, глибокі нейронні мережі можуть вивчати характеристики об'єктів на дорозі та прогнозувати їхні дії. Застосування методів класифікації дозволяє системі ідентифікувати різні типи об'єктів на дорозі та визначати, чи є вони потенційно небезпечними для автомобіля. Наприклад, система може класифікувати об'єкти як інші автомобілі, пішоходів, велосипедистів тощо;

2) Обробка сигналів. Застосування методів обробки сигналів дозволяє системі виявляти певні шаблони або патерни, які можуть вказувати на потенційно небезпечні ситуації на дорозі. Наприклад, система може виявляти шаблони руху, що можуть призвести до зіткнення;

3) Статистичний аналіз. Застосування статистичних методів дозволяє системі прогнозувати ризик виникнення аварійних ситуацій на основі аналізу історичних даних та поточних умов дорожнього руху. Наприклад, система може враховувати час доби, погодні умови, тип дороги тощо;

4) Геопросторовий аналіз. Геопросторовий аналіз дозволяє системі визначати оптимальний маршрут та прогнозувати майбутню траєкторію руху автомобіля з урахуванням різних факторів, таких як дорожні умови, дорожні знаки, сигнали світлофорів та трафік.

Посилення різних методів аналізу даних для підтримки автоматичного попередження водія дозволяє створити комплексну та ефективну систему, яка забезпечує максимальний рівень безпеки на дорозі. Інтеграція машинного навчання, обробки сигналів, статистичного аналізу та геопросторового аналізу дозволяє системі обробляти великі обсяги даних з різних джерел та приймати відповідні рішення в реальному часі.

При використанні машинного навчання система може вчитися зі збережених даних про різні ситуації на дорозі та вибирати найбільш ефективний спосіб реагування в конкретних умовах. Обробка сигналів дозволить системі виявляти відхилення від типових патернів руху, що може вказувати на потенційно небезпечні ситуації, тоді як статистичний аналіз допомагає прогнозувати ризик виникнення аварій в різних умовах.

Із використання геопросторового аналізу система може враховувати географічні особливості доріг та інфраструктури, що дозволяє більш точно прогнозувати та уникати потенційно небезпечних ситуацій. Посилення цих методів дозволяє створити систему, яка може оперативіно реагувати на зміни на дорозі та ефективно попереджати водія про можливі небезпеки, що допомагає зменшити кількість аварій та підвищити загальний рівень безпеки дорожнього руху.

Алгоритм підтримки прийняття рішень для системи запобігання аварійним ситуаціям

Для ефективного функціонування системи запобігання аварійним ситуаціям необхідно мати алгоритм прийняття рішень, який базується на результаті аналізу даних та виявленні потенційних небезпек на дорозі.

Першим кроком в алгоритмі є оцінка ризику потенційно небезпечних ситуацій. Цей процес включає в себе аналіз даних з різних джерел, виявлення відхилень від типових патернів руху, оцінку стану дорожньої інфраструктури, перевірку стану автомобіля та інші фактори, що можуть впливати на безпеку на дорозі.

Після оцінки ризику система вибирає найбільш ефективний захід для запобігання потенційним аварійним ситуаціям. Це може бути відображення попереджувального сигналу для водія про гальмування, зміну траєкторії руху, тощо. Також є варіант попередження за допомогою звуку.

Останнім етапом є моніторинг ефективності заходів безпеки та складання звітів про їхню ефективність. Це дозволить системі постійно вдосконалювати свої алгоритми та забезпечувати максимальний рівень безпеки на дорозі.

Алгоритм прийняття рішень є важливою складовою кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям, оскільки він визначає, як система реагує на потенційно небезпечні ситуації та захищає водія та пасажирів на дорозі. Загальний алгоритм роботи підсистеми зображений на рис. 1.

Збір інформації про стан автомобіля

Під час збору інформації про стан автомобіля для системи запобігання аварійним ситуаціям, важливо враховувати параметри, що відображають технічний стан та функціонування автомобіля. Одним із таких параметрів - це рівень мастила. Вимірювання рівня та якості мастила в двигуні дозволить вчасно виявити можливі проблеми з системою змащення, що може уникнути серйозних пошкоджень двигуна.

Також важливим параметром є температура двигуна. Постійний моніторинг температури двигуна дозволить виявити перегрів та інші аномальні стани, що можуть призвести до пошкодження двигуна або навіть до пожежі.

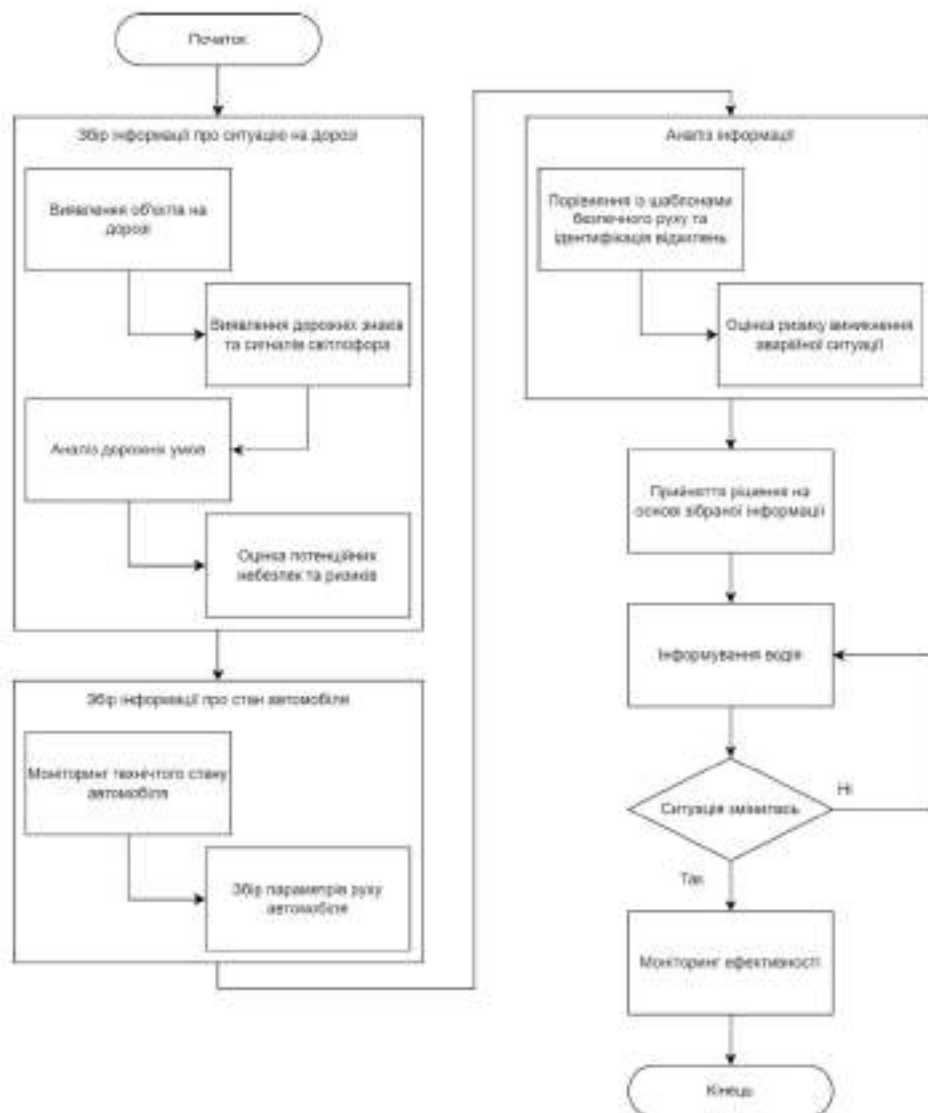


Рис. 1. Алгоритм роботи системи аналізу та повідомлення водія

Ще одним важливим параметром є тиск у шинах. Моніторинг тиску у шинах допомагає збільшити безпеку та економію пального, оскільки неправильний тиск може призвести до погіршення керованості автомобіля та збільшення споживання пального.

Рівень пального в баку є також важливим параметром для відстеження. Вимірювання рівня пального дозволяє уникнути випадків відключення двигуна через вичерпання пального, що може призвести до небезпечних ситуацій на дорозі.

Додатково, параметром стану автомобіля є стан гальмівної системи. Виявлення аномальних або небезпечних значень тиску гальмівної рідини та інших параметрів гальмівної системи дозволяє вчасно виявити проблеми та уникнути аварій.

Також слід враховувати стан акумулятора, який може відображати роботу електричної системи автомобіля. Відстеження напруги та стану заряду акумулятора допомагає запобігти можливим відмовам електричної системи.

Не менш важливим є вимірювання параметрів роботи двигуна. Вимірювання швидкості обертання двигуна, температури та інших параметрів допомагає вчасно виявити проблеми з роботою двигуна та уникнути аварій на дорозі.

Збір інформації про стан автомобіля та аналіз отриманих даних відбувається за допомогою вбудованих в автомобіль сенсорів та систем моніторингу. Основні кроки збору та аналізу інформації наступні:

1) Збір даних. Сенсори в автомобілі постійно вимірюють різні параметри, такі як тиск у шинах, температура двигуна, рівень пального, стан гальмівної системи та інші. Отримані дані зберігаються у вбудованих системах зпису даних автомобіля;

2) Передача даних. Зібрані дані передаються до системи запобігання аварійним ситуаціям, де вони піддаються подальшому аналізу;

3) Аналіз даних. При отриманні даних, система використовує алгоритми аналізу для виявлення можливих аномалій або небезпечних ситуацій. Наприклад, якщо тиск у шинах виявиться нижчим за норму або температура двигуна перевищує допустимий рівень, система може спрацювати на виявлення проблем;

4) Оповіщення водія. При виявленні аномалій або помилок у роботі автомобіля, система сповіщає водія. Це може відбуватися через візуальні та аудіо сигнали на екрані або навіть через спеціальний мобільний додаток;

5) Рекомендації для дій. Крім оповіщення про помилки, система також може надавати рекомендації водієві щодо подальших дій. Наприклад, у разі низького тиску у шинах система може порадишити водієві перевірити тиск та, якщо потрібно, надати інструкції щодо накачування шин.

Отже, цей процес забезпечує постійний моніторинг стану автомобіля та надає водієві інформацію про можливі проблеми або небезпечні ситуації, що допомагає збільшити безпеку та ефективність управління транспортним засобом.

Висновки

У цій статті було детально розглянуто систему запобігання аварійним ситуаціям для автомобіля, що базується на аналізі даних та кіберфізичних системах. Система такого типу використовує сучасні технології, такі як датчики, алгоритми машинного навчання та штучний інтелект, для постійного моніторингу стану автомобіля та оточуючого середовища.

Також було проаналізовано методи аналізу даних, які використовуються для виявлення потенційних небезпечних ситуацій на дорозі, а також методи підвищення надійності системи для забезпечення безперебійної та ефективної роботи. Збір інформації про стан автомобіля включає в себе вимірювання різних параметрів, таких як рівень мастила, тиск у шинах, температура двигуна та інші, що дозволяє системі виявляти можливі проблеми та вчасно реагувати на них.

Оповіщення водія про виявлені помилки або аномалії у роботі автомобіля є однією з важливих складових системи. Це дозволяє водієві своєчасно реагувати на потенційні небезпечні ситуації та вживати необхідні заходи для забезпечення безпеки.

У цілому, система запобігання аварійним ситуаціям для автомобілів є важливим кроком у напрямку безпеки на дорогах та покращення якості життя усіх учасників дорожнього руху.

Література

1. Hovorushchenko T. Road Accident Prevention System / T. Hovorushchenko, O. Pavlova, Y. Binkovskyi, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk // In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). IEEE. – 2023. – Pp. 1-7.
2. Jang J. Identification of safety benefits by inter-vehicle crash risk analysis using connected vehicle systems data on Korean freeways / J. Jang, J. Ko, J. Park, C. Oh, S. Kim // Accident Analysis & Prevention. – 2020. – Pp. 144.
3. Pourroostaei Ardakani S. Road car accident prediction using a machine-learning-enabled data analysis / S. Pourroostaei Ardakani, X. Liang, K. T. Mengistu, R. S. So, X. Wei, B. He, A. Cheshmehzangi // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(7). – Pp. 3-8.
4. Fényes D. Data-driven reachability analysis for the reconfiguration of vehicle control systems / D. Fényes, B. Németh, P. Gáspár // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51(24). – Pp. 831-836.
5. Бабій М. В. Інтелектуальні системи безпеки руху / М. В. Бабій, В. А. Бабій, А. О. Мартинчук // V Міжнародна науково-практична конференція "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем." – 2023. – Pp. 156.

References

1. T. Hovorushchenko, O. Pavlova, Y. Binkovskyi, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk. Road Accident Prevention System // In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). IEEE. – 2023. – Pp. 1-7.
2. J. Jang, J. Ko, J. Park, C. Oh, S. Kim. Identification of safety benefits by inter-vehicle crash risk analysis using connected vehicle systems data on Korean freeways // Accident Analysis & Prevention. – 2020. – Pp. 144.
3. D. Fényes, B. Németh, P. Gáspár. Data-driven reachability analysis for the reconfiguration of vehicle control systems // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51(24). – Pp. 831-836.
4. S. Pourroostaei Ardakani, X. Liang, K. T. Mengistu, R. S. So, X. Wei, B. He, A. Cheshmehzangi. Road car accident prediction using a machine-learning-enabled data analysis // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(7). – Pp. 3-8.
5. M. V. Babiy, V. A. Babiy, A.O. Martynchuk. Intelligent traffic safety systems // V International scientific and practical conference "Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems". – 2023. – Pp. 156.

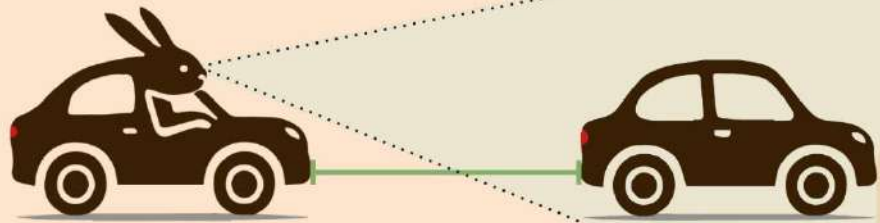
ДОДАТОК Б (обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Виконала: студентка 2 курсу Білінська А. Є.

Керівник: доктор техн. наук, професор Говорущенко Т. О.



1

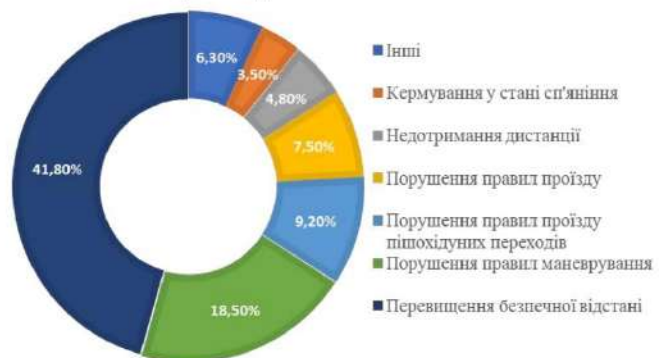
Мета кваліфікаційної роботи – покращення визначення безпечної відстані між автомобілями та ефективне запобігання дорожньо-транспортним пригодам шляхом розроблення підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Об'єкт дослідження – процес визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору.

Предметом дослідження – методи та алгоритми розпізнавання транспортних засобів, а також моделі визначення безпечної відстані між ними, які використовують дані з однієї або двох камер.

Актуальність: щорічно збільшується кількість транспортних засобів, а разом із цим наші дороги стають свідками зростання кількості трагічних подій.

Причини ДТП за січень-лютий 2024



Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні рівня безпеки на дорогах завдяки впровадженню передових технологій розпізнавання та моніторингу дорожньої обстановки.

2

Наукова новизна:

1) розроблено новий метод ідентифікації транспортних засобів та визначення безпечної відстані, який відрізняється від відомих використанням мікроскопічної симуляції дорожнього руху, а також покращенням точності формул для визначення відстані між автомобілями, і дозволяє встановити оптимальні параметри безпечної відстані, які ефективно в майбутньому зможуть запобігати аваріям на дорогах, а також забезпечує більш швидке і точне розпізнавання транспортних засобів, що сприяє підвищенню безпеки руху;

2) удосконалено архітектуру підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору, яка запобігає порушенню безпечної відстані між транспортними засобами під час руху з підвищеною точністю та ефективністю та сприяє підвищенню рівня безпеки на дорогах.

Публікації:

1. T. Hovorushchenko, O. Pavlova, Y. Binkovskiy, A. Bilinska, A. Holovatiuk, D. Melnychuk. Road Accident Prevention System. In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2023. Pp. 1-7.
2. О. Павлова, А. Білінська, А. Головатюк, Я. Бінковський, Д. Мельничук. Automated system for determining speed of cars ahead. Computer systems and information technologies. 2023. Pp. 35-39.
3. А. Білінська, Я. Бінковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Автоматичне виявлення автомобільних порушників за допомогою комп'ютерного зору в рамках кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1. С. 176-185.
4. А. Білінська, Я. Бінковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говорущенко. Аналіз даних для підтримки автоматичного попередження водія для кіберфізичної системи запобігання аварійним ситуаціям. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024.



3

Обрахунок відстані між автомобілями за допомогою однієї камери

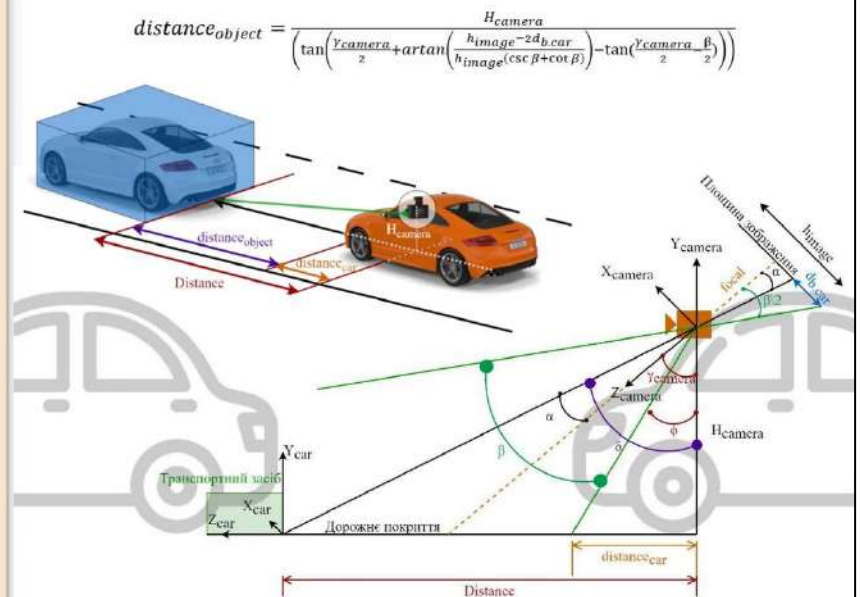
де H_{camera} – висота камери над рівнем дороги;

γ_{camera} – кут нахилу камери;

β – кут поля зору камери;

h_{image} – висота площини записаного зображення (в одиницях пікселів);

$d_{b,car}$ – відстань від нижньої сторони виявленого транспортного засобу до низу площини зображення (також в одиницях пікселів).



4

Обрахунок відстані між автомобілями за допомогою двох камер

де Lane – відстань між двома камерами;

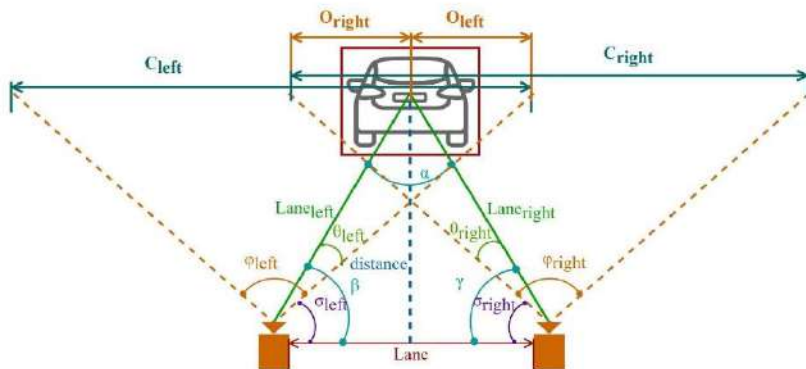
$\varphi_{left}, \varphi_{right}$ – кути огляду двох камер відповідно;

C_{left}, C_{right} – кількість горизонтальних пікселів двох камер відповідно;

O_{left} – відстань у пікселях між центром об'єкта та кінцем області перекриття для камери зліва;

O_{right} – відстань у пікселях між центром об'єкта та початком області перекриття для правої камери.

$$distance = \frac{Lane \times \sin\left(\frac{O_{right} \times \varphi_{right} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2}}{C_{right}}\right) \times \sin\left(\frac{O_{left} \times \varphi_{left} + \frac{180^\circ - \varphi_{left}}{2}}{C_{left}}\right)}{\sin\left(180^\circ - \left(\frac{O_{right} \times \varphi_{right} + \frac{180^\circ - \varphi_{right}}{2}}{C_{right}} + \frac{O_{left} \times \varphi_{left} + \frac{180^\circ - \varphi_{left}}{2}}{C_{left}}\right)\right)}$$



5

Метод ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми

Під час розробки підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями було прийнято рішення використати для ідентифікації транспортних засобів метод заснований на Гаар-подібних ознаках та алгоритмі AdaBoost (Adaptive Boosting).

Процес навчання включає:

- збір даних;
- попередня обробка даних;
- вибір ознак;
- навчання слабких класифікаторів;
- оновлення ваг зразків;
- побудова сильного класифікатора;
- перевірка моделі;
- оновлення моделі.

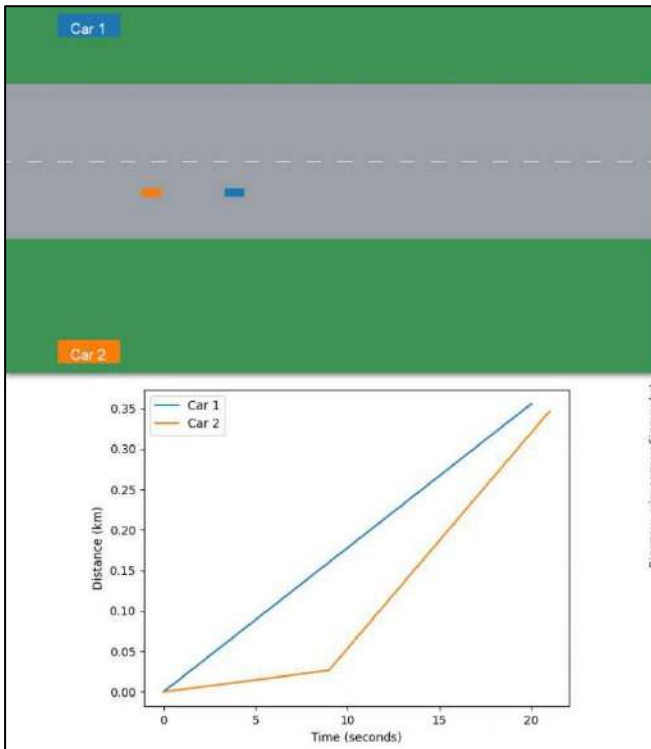
Негативний зразок



Позитивний зразок

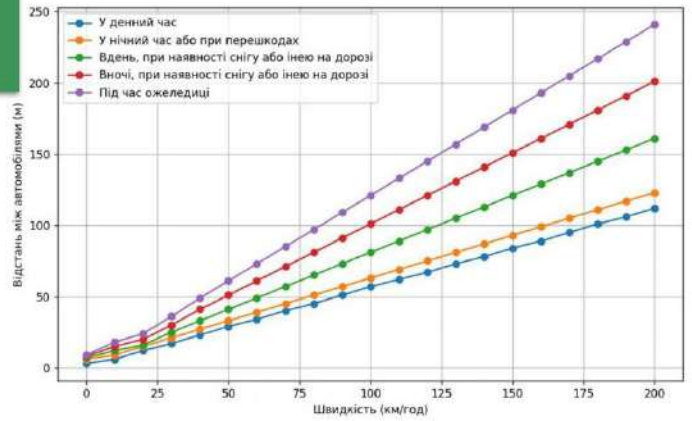


6



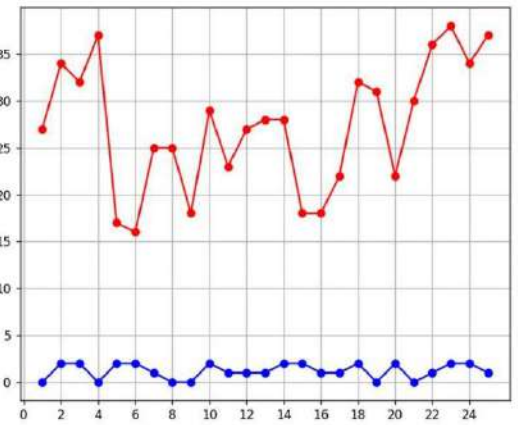
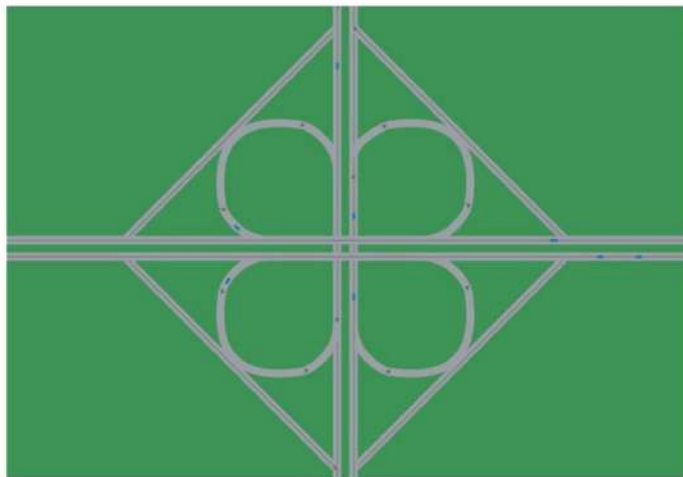
Проведення моделювання за допомогою мови програмування Python

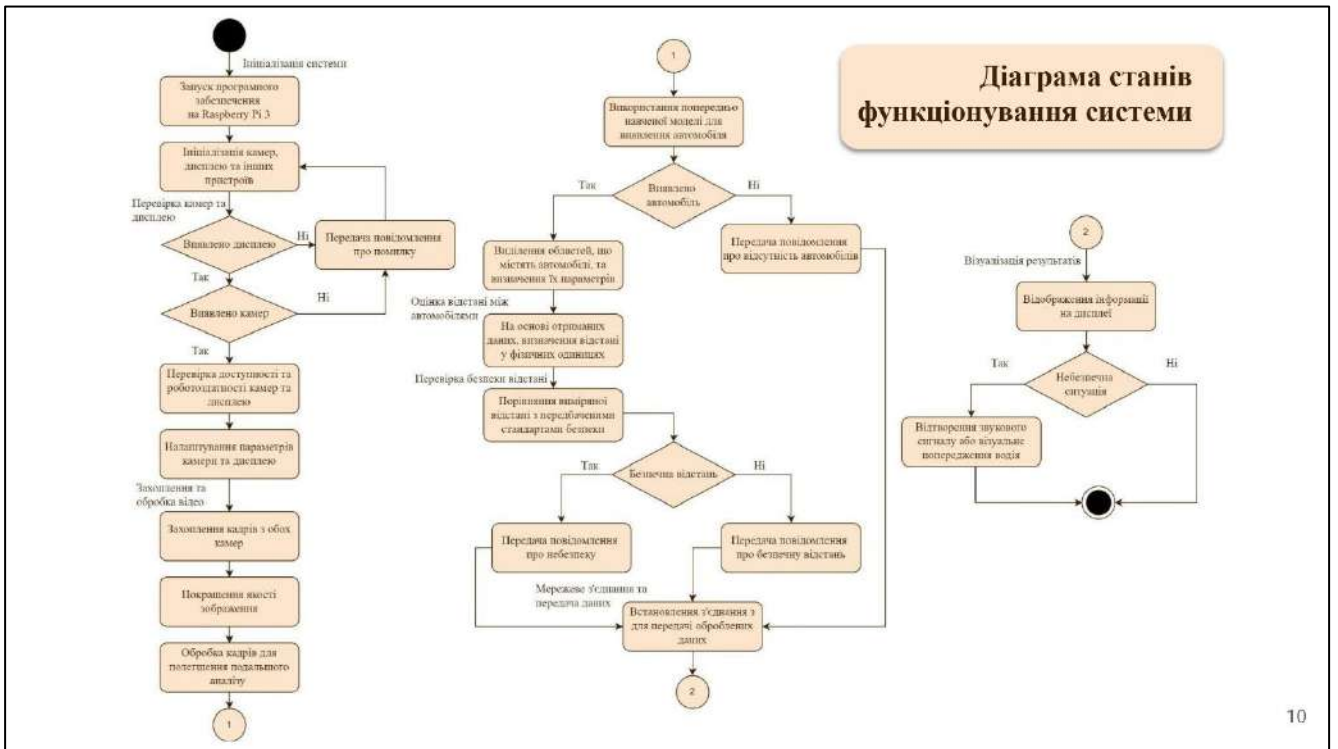
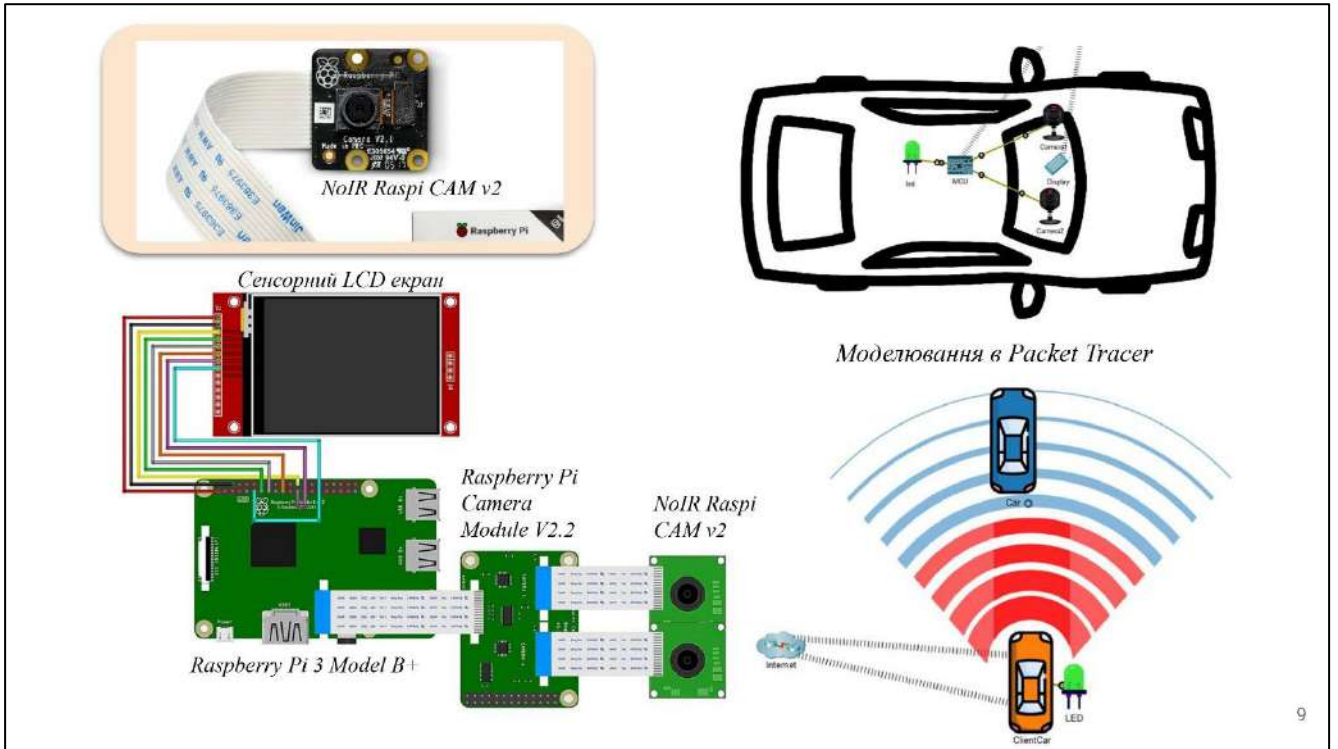
Для точного визначення безпечної відстані в реальній системі необхідно враховувати залежність відстані від швидкості автомобіля.

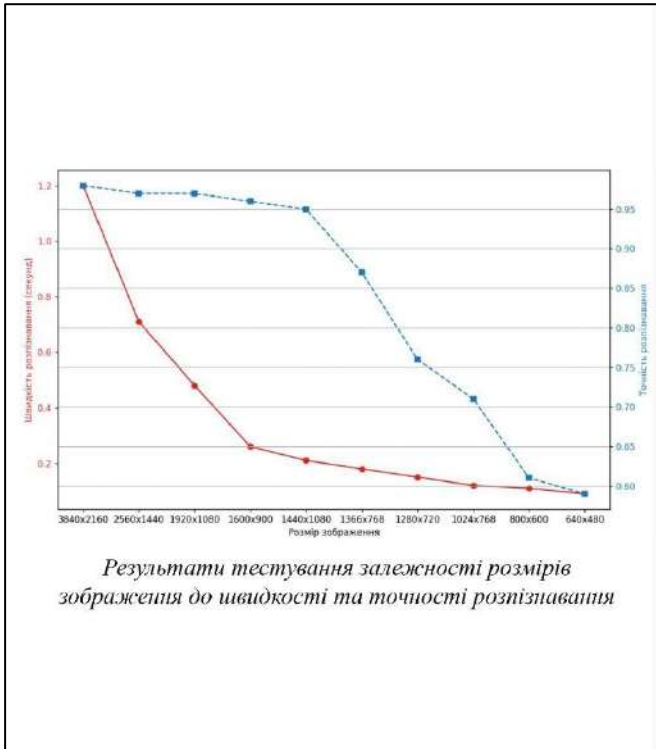


Мікроскопічна модель транспортної розв'язки "Листок конюшини"

Даний тип транспортного вузла можна зустріти по всьому світу, включаючи Україну. Тому варто детально проаналізувати рух транспортних засобів та дотримання безпечної відстані на цій частині дороги.





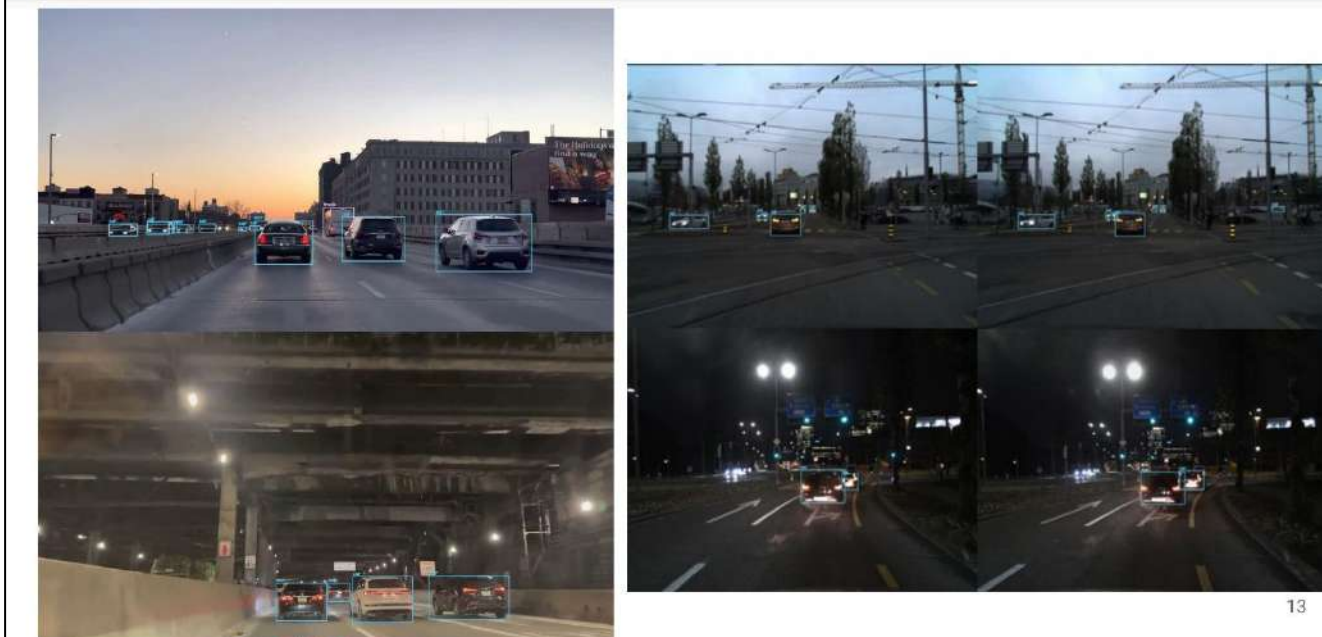


Тестування визначення відстані між автомобілями під час моделювання ситуації в Unity

Реальна відстань (м)	2,5	3	5,1	7,2	8	9,4	13	15,3	18,4	20
Підсистема з однією камерою (м)	2,57	3,52	5,11	6,91	8,42	9,41	13,54	15,15	18,11	20,05
Підсистема з двома камерами (м)	2,38	3,10	5,18	7,32	8,20	9,23	12,55	15,42	18,38	19,92

12

Тестування визначення відстані між автомобілями на відео



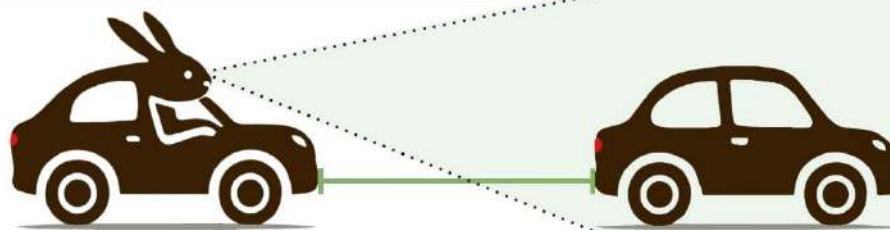
Висновки

На основі проведених теоретичних і практичних досліджень було розроблено програмне забезпечення для визначення безпечної відстані між транспортними засобами. Підсистема містить модуль виявлення об'єктів на дорозі та механізм контролю безпечної відстані, що допомагає виявляти ризики та попереджувати водіїв про небезпечну відстань між транспортними засобами.

Тестування зображень та відео з однією камерою показало, що оптимізація кадрів підвищує точність розпізнавання до 94%, значно перевищуючи початкову точність 85%. Використання двох камер також покращує точність вимірювання відстані між автомобілями, забезпечуючи 81% точності виявлення та нумерації транспортних засобів.

Моделювання ситуації на дорозі за допомогою програмного забезпечення Unity підтвердило перевагу підсистеми з двома камерами (СКВ – 0.15, САП – 0.18) над підсистемою з однією камерою (СКВ – 0.26, САП – 0.31) через нижче стандартне відхилення та середню абсолютну похибку. Це робить підсистему з двома камерами привабливою для використання у майбутньому під час водіння, що потребує високої точності вимірювань.

Впровадження результатів роботи дозволить підвищити рівень безпеки на дорогах та забезпечити водіїв своєчасними попередженнями про ризики та небезпечні відстані між автомобілями, що сприятиме зменшенню кількості аварій і покращенню ефективності дорожнього руху.



Ім'я користувача:
Кафедра КІ

Дата перевірки:
24.04.2024 21:42:52 EEST

Дата звіту:
24.04.2024 21:45:23 EEST

ID перевірки:
1016209413

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005591

Назва документа: 111Антиплагіат_Білінська А_

Кількість сторінок: 113 Кількість слів: 19985 Кількість символів: 147508 Розмір файлу: 13.53 MB ID файлу: 1015980763

2.64% Схожість

Найбільша схожість: 1.24% з Інтернет-джерелом (<https://kn.khmnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn-2023-cor...>)

2.48% Джерела з Інтернету 82 Сторінка 115

0.85% Джерела з Бібліотеки 47 Сторінка 116

0.21% Цитат

Цитати 1 Сторінка 117

Посилання 1 Сторінка 117

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи 86

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 125464 Назва: МКР Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору Додано в БД: 2024-04-24 Автора: Білінська А.Є. Керівники: Говорущенко Т.О. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	122133	1131	1395 (1%)	21 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Білінська Ада Євгенівна

Тема: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод.
Підсистема визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 154

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є покращення визначення безпечної відстані між автомобілями та ефективно запобігання дорожньо-транспортним пригодам шляхом розроблення підсистеми визначення безпечної відстані під час водіння автомобіля за допомогою 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 розглянуто різні підходи до вирішення проблеми впровадження підсистеми визначення безпечної відстані під час керування автомобілем за допомогою комп'ютерного зору в системі попередження ДТП. Проаналізовано переваги та недоліки запропонованих методів, а також оглянуто існуючі системи на ринку, що використовуються в різних марках автомобілів. Окремо розглянуто вибір веб-камери для вирішення задачі. Дослідження також включало розгляд часу реакції в різних умовах та вивчення проблем, пов'язаних з обчисленням безпечної відстані між транспортними засобами. У другому розділі розглянуто методи визначення відстані з використанням даних від однієї або двох камер та застосування машинного навчання для ідентифікації транспортних засобів у межах підсистеми. Для визначення відстані за допомогою однієї камери розроблено формулу, яка враховує кілька параметрів камери, але може бути складною у розрахунках та залежною від початкових параметрів. Використання двох камер дозволяє підвищити точність вимірювання відстані завдяки порівнянню зображень з

різних точок огляду, проте потребує складного налаштування. Для ідентифікації транспортних засобів було досліджено методи машинного навчання, зокрема використання Гаар-подібних ознак та алгоритму AdaBoost, що забезпечує підвищену точність класифікації. У третьому розділі проведено моделювання за допомогою Packet Tracer, яке сприяло візуальному розумінню роботи підсистеми та її внутрішніх складових для визначення безпечної відстані між автомобілями. Розроблено мікроскопічну модель дорожнього трафіку для оптимізації параметрів безпечної відстані. Експерименти показали, що збільшення безпечної відстані між транспортними засобами, особливо на звивистих дорогах, може значно знизити ризик аварій. У результаті додаткових експериментів було майже повністю усунуто аварії, підтверджуючи ефективність прийнятих заходів. У четвертому розділі розглянуто роботу підсистеми за допомогою діаграм, що відображають її загальне функціонування, алгоритми та архітектуру. Результати тестування підсистеми визначення безпечної відстані між автомобілями продемонстрували її ефективність і надійність. Експериментальне дослідження під час моделювання ситуації на дорозі, за допомогою Unity, підтвердило перевагу технології з двома камерами, що має нижче стандартне відхилення та середню абсолютну похибку. Загалом, підсистема показала свою надійність та потенціал для забезпечення безпечної відстані між автомобілями.

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 з діючими стандартами оформлення документації.

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

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно/А.

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Барнак О.В.,

р.т. н., проф., зав. кафедри КН

“29” 04 2024 р.

 (підпис)

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

Білінської Ади Євгеніївни

ІІІІ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, 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 плагіат оповіщений(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.

24 квітня 2024 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ 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: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема визначення безпечної відстані під час подіння автомобіля за допомогою комп'ютерного зору

Автор: Білінська Ада Євгенівна

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Говорущенко Тетяна Олександрівна, д.т.н, професор

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 укриття 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 оформленні посилання;
- 3) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 1,24% в частині загальноприйнятої термінології;
- 4) 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 2,64% і адресується до 129 періоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



Т. О. Говорущенко

Гарант ОНП



О. С. Савенко

Завідувач кафедри КІС



Т. О. Говорущенко