

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху»

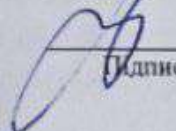
КвРКП. 180102.18.01.02 ПЗ

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


Підпис

Біньковський Я.В.
Ініціали, прізвище

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


Підпис

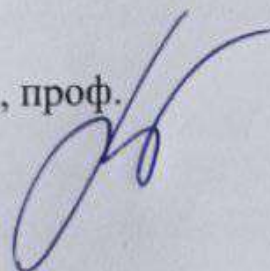
Говорущенко Т.О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КПС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

09 05 2024 р.



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 Г.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Біньковському Ярославу Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

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) _____

Аналіз відомих пристроїв та методи, застосовані для розпізнавання світлових сигналів світлофора


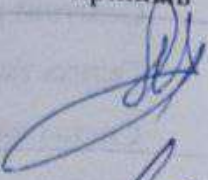
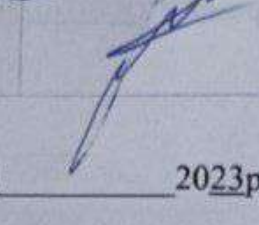

Вибір апаратної складової та моделі розпізнавання світлових сигналів світлофора

Проектування моделі та розробка системи розпізнавання світлофорів

Тестування моделі на основі сегментації кольорів та вирішення проблем з детекцією світлофорів

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 КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

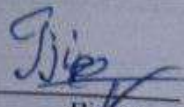
7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

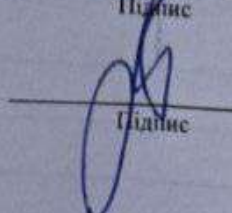
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (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 моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.204	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.204	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2024	виконано
0	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Біньковський Я.В.
Ініціали, прізвище

Говорущенко Т.О.
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Автор роботи: Бінковський Ярослав Васильович

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор Говорущенко Тетяна Олександрівна

Пояснювальна записка: 85 с., 35 рис., 3 дод., 82 джерела.

СИСТЕМА, СВІТЛОФОР, БЕЗПЕКА, АВТОМОБІЛЬ, РОЗПІЗНАВАННЯ, ДТП, ПОПЕРЕДЖЕННЯ, НЕЙРОМЕРЕЖІ.

Об'єктом дослідження є кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод, а саме її підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху.

Предметом дослідження є методи та методи машинного навчання для розпізнавання світлофорів на зображеннях та відео.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка ефективної системи розпізнавання світлофорів на дорогах з метою оптимізації руху транспорту та підвищення безпеки на дорогах.

Для розв'язання поставлених задач використовуються методи дослідження машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки зображень та аналізу даних, а також метод тестування на основі симуляції.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод визначення світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху на основі кольорового простору HSV, що дозволило коректно визначати сигнали світлофора;

2. Вдосконалено архітектуру системи автоматичного аналізу відеоданих на основі машинного навчання, що забезпечило високу надійність та можливість роботи системи при обмежених ресурсах.

З поглибленням технологій і впровадженням концепції "розумного" міста виникає потреба у розвинених системах розпізнавання дорожнього руху. Системи, здатні ефективно реагувати на зміни на дорозі та забезпечувати безпеку учасників руху, або ж принаймні здатні сповіщати водія про аварійну обстановку, стають все більш затребуваними. Розпізнавання світлових сигналів у цьому контексті є ключовою складовою для покращення безпеки транспортного руху та зменшення ймовірності ДТП.

Застосування таких методів не лише підвищує рівень безпеки на дорозі, але й сприяє оптимізації транспортного потоку, зменшенню часу очікування на світлофорах та покращенню рухових показників в місті загалом. При цьому враховуючи обмежені ресурси системи, використання ефективних методів розпізнавання дозволяє досягти цих цілей навіть при обмежених обчислювальних можливостях.

Таким чином, актуальність застосування методів розпізнавання світлових сигналів в контексті оптимізації дорожнього руху і захисту безпеки учасників руху є вищою за все, оскільки вони допомагають побудувати безпечні та міста.

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОФОРА .	8
1.1 Огляд систем та поняття «світлофор»	8
1.2 Огляд відомих рішень.....	22
1.3 Постановка задачі.....	25
1.4 Висновки	26
2 ВИБІР АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ ТА МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОВИХ СИГНАЛІВ СВІТЛОФОРА.....	27
2.1 Огляд апаратної складової	27
2.2 Вибір моделі для розпізнавання світлофорів	32
2.3 Модель YOLOv4.....	34
2.4 Модель, заснована на кольоровій сегментації та на основі простору кольорів HSV	41
2.5 Висновки	48
3 ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОФОРІВ.....	50
3.1 Апаратне забезпечення системи	50
3.2 Розробка системи визначення сигналів світлофора	53
3.3 Застосування бібліотеки OpenCV	55
3.4 Висновки	61
4.4 ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ СЕГМЕНТАЦІЇ КОЛЬОРІВ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ З ДЕТЕКЦІЄЮ СВІТЛОФОРІВ	63
4.1 Способи тестування системи визначення сигналів світлофора	63

4.2	Перший етап тестування системи визначення сигналів світлофора на зображеннях.....	64
4.3	Другий етап тестування системи визначення сигналів світлофора на даних, заснованих на відеоматеріалах	70
4.4	Виявлення дефектів та помилок системи розпізнавання, застосування алгоритмів	74
4.5	Заключний етап тестування системи визначення сигналів світлофора за допомогою симуляції.....	78
4.6	Висновки	83
	ВИСНОВКИ	85
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	88
	ДОДАТОК А Діаграма розгортання системи	97
	ДОДАТОК Б Копії опублікованих наукових статей.....	98
	ДОДАТОК В Презентація дипломної роботи.....	132

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

LED – Light Emitting Diode (світловипромінювальний діод)

PIN – Премія індексу безпеки на дорогах

БД – база даних

ОС – операційна система

ПЗ – програмне забезпечення

ТЗ – транспортний засіб

YOLO – You Only Look Once

HSV – Hue, Saturation, Value

HSB – Hue, Saturation, Brightness

ВСТУП

Машинне навчання дозволяє створювати моделі та методи, які можуть вчитися на основі даних і приймати рішення без явного програмування.

Актуальність роботи полягає в розробці нових методів та методів для розпізнавання світлофорів на дорогах з використанням машинного навчання та комп'ютерного зору та інформування водія про світлофор та його колір.

Метою кваліфікаційної роботи є попередження дорожньо-транспортних пригод шляхом розроблення підсистеми розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- необхідно розробити метод розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху;
- метод повинен працювати ефективно в реальному часі та в умовах змінної освітленості, а також забезпечити високу точність розпізнавання стану світлофорів.

Об'єкт дослідження – процес розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Предмет дослідження – метод і підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Набув подальшого розвитку метод визначення світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху на основі кольорового простору HSV, що дозволило коректно визначати сигнали світлофора;
2. Вдосконалено архітектуру системи автоматичного аналізу відеоданих на основі машинного навчання, що забезпечило високу надійність та можливість роботи системи при обмежених ресурсах.

Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості застосування розробленої системи в реальних умовах для оптимізації руху транспорту та забезпечення безпеки на дорогах.

У даній роботі викладено вимоги до методології розробки систем розпізнавання об'єктів на дорогах з використанням машинного навчання та комп'ютерного зору.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки зображень та аналізу даних.

За темою кваліфікаційної роботи магістра було опубліковано чотири статті в яких я брав участь як співавтор (додаток Б):

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

2. А. Білінська, Я. Бінковський, А. Головатюк, Д. Мельничук, Т. Говоруценко. 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.

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

4. 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.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОФОРА

1.1 Огляд систем та поняття «світлофор»

У сучасному світі безпека на дорозі є однією з найбільш актуальних проблем, яка потребує постійного удосконалення та інноваційних рішень. Одним із важливих елементів забезпечення безпеки на дорозі є світлофор, який виконує ключову роль у регулюванні дорожнього руху та попередженні конфліктних ситуацій [5].

Історія світлофорів є цікавою подорожжю у світ безпеки дорожнього руху та технологічних удосконалень. Початок історії світлофора можна віднести до кінця XIX століття. Перші експериментальні світлофори з'явилися в середині 19-го століття. Однак, перший відомий світлофор (рисунок 1.1), який нагадував більше сучасні, був встановлений в Лондоні у 1868 році.

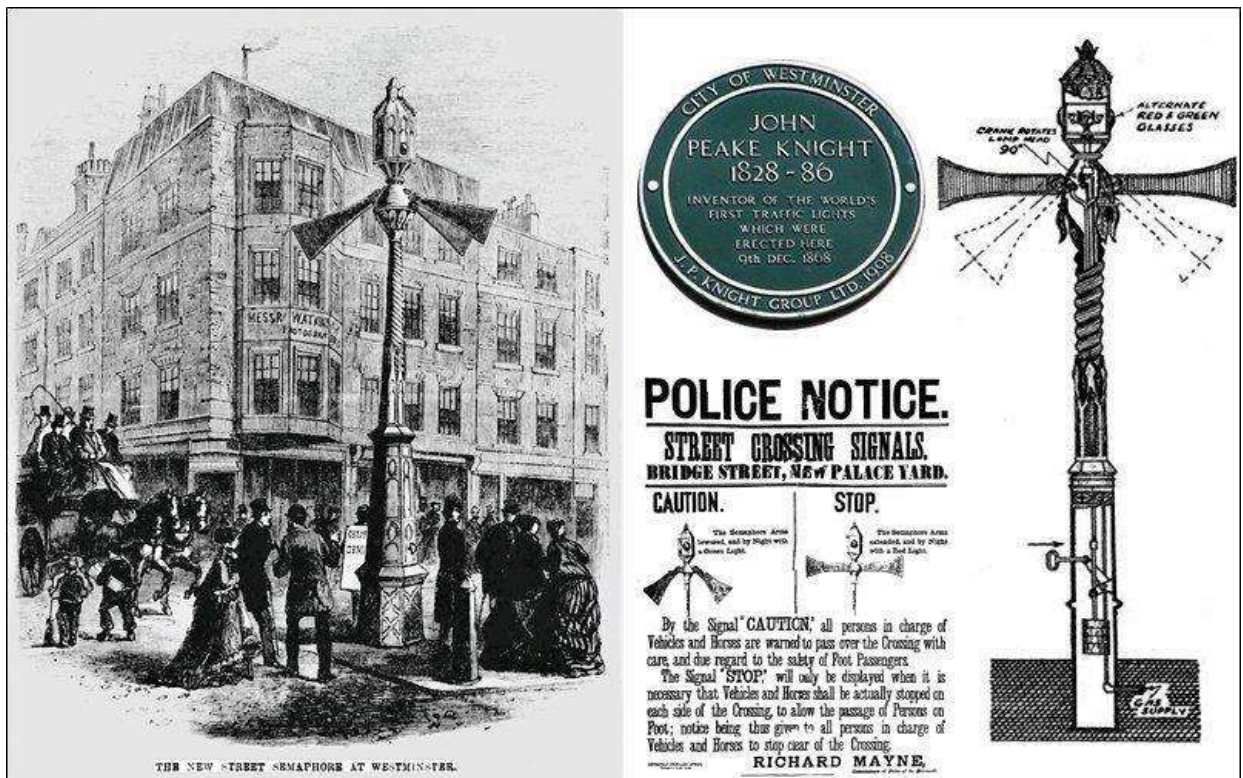


Рисунок 1.1 – Принцип дії першого світлофора (семафора) [5]

Цей світлофор винайшов Джон Пік Найт. Він складалася з двох семафорних крил, які були прикріплені до поворотних тяг і керувалися за допомогою важеля. Для підвищення видимості стовп був обладнаний семафором з газовим освітленням. Однак менш ніж через два місяці від моменту встановлення, світлофор вибухнув, що призвело до травми поліцейського, який працював зі знаками.

Перший двоколірний світлофор, що використовував електрику, був встановлений у Клівленді, США, через 46 років після трагедії в Лондоні. Пізніше Детройт і Нью-Йорк додали жовтий сигнал між червоним і зеленим у 1920 році. З того часу світлофори стали стандартом у всьому світі.

Протягом наступних десятиліть світлофори постійно вдосконалювалися. У 1910 році в США було встановлено перший електричний світлофор, розроблений поліцейським Лестером Віртцем. Цей світлофор складався з червоного та зеленого сигналів і був управлінням з поста поліцейського.



Рисунок 1.2 – Перший світлофор, що працював на лампах розжарювання [5]

Проте перший автоматичний електричний світлофор був встановлений у Клівленді в 1914 році (рисунок 1.2). Ця система вже мала три кольори: червоний, жовтий та зелений, які працювали послідовно, а не паралельно.

Згодом, в 1920-1930-х роках, світлофори стали стандартом для багатьох міст по всьому світу. У подальші роки, з розвитком технологій, вони отримали нові функції, такі як таймери, датчики руху та вбудовані системи звукового сигналу для осіб із обмеженими можливостями [5-7].

Світлофори є ключовим елементом інфраструктури дорожнього руху, який впливає на безпеку та ефективність транспортного потоку. Вони регулюють рух транспортних засобів і пішоходів за допомогою світлових сигналів, які вказують на різні дії, щоб уникнути конфліктів та забезпечити плавний рух усіх учасників дорожнього руху. Основні компоненти світлофорів включають зелений, жовтий і червоний світлові сигнали, які показують дозвіл на рух, попередження про наближення до зупинки та заборону руху відповідно.

Крім основних сигналів, деякі світлофори можуть мати додаткові секції зі стрілками, що дозволяють здійснювати повороти або рух у конкретних напрямках. Наприклад, зелена стрілка може вказувати, що рух дозволено тільки у певному напрямку, навіть якщо головний світловий сигнал показує червоний.

Важливою характеристикою світлофорів є їх розташування та організація. Їх розміщують на перехрестях, де може виникнути конфлікт руху, і додатково обладнують пішохідними переходами. Також вони можуть бути розташовані на великих магістральних дорогах для регулювання руху на переходах або з'єднаннях з іншими магістралями.

Іншим різновидом є пішохідні світлофори, які призначені для безпечного переходу пішоходів через дорогу. Вони можуть мати спеціальні світлові сигнали, що вказують пішоходам, коли їм можна переходити дорогу або коли потрібно чекати. Ці світлофори зазвичай розташовані на рівні дорожніх переходів або в районах з інтенсивним пішохідним рухом.

Також існують спеціалізовані світлофори, наприклад, для велосипедистів або громадського транспорту. Ці світлофори можуть мати додаткові світлові сигнали

або режими, щоб враховувати специфіку руху цих категорій учасників дорожнього руху.

На рисунку 1.3 зображено різні типи світлофорів, які використовуються на дорогах України. Серед них є (зліва направо): звичайний вертикальний світлофор без додаткових знаків та секцій, світлофор, який дозволяє поворот праворуч при червоному сигналі, але з наданням переваги в русі іншим учасникам дорожнього руху, з додатковою правою та (або) лівою секцією, яка надає перевагу в русі над іншими ТЗ, горизонтальний для нерейкових ТЗ та Т-подібний світлофор для рейкових ТЗ (трамваїв), для велосипедистів та звичайний світлофор з додатковим позначенням про призначення для велосипедистів; другий рядок (зліва направо): двоколірний тимчасовий для регулювання руху в місцях, наприклад, де ремонтують дорогу і потрібно виконувати об'їзд ремонтованої ділянки дороги по сусідній зустрічній смузі (також використовуються для регулювання руху пішоходів, або на підприємствах, де потрібно надати перевагу в русі ти чи іншим ТЗ), одноколірні світлофори, які інформують про наближення до ділянки дороги, де підвищена аварійність, реверсивні світлофори, які використовуються на смугах зі змінним напрямком руху, а також світлофори, призначені для регулювання проїзду залізничних переїздів [8].

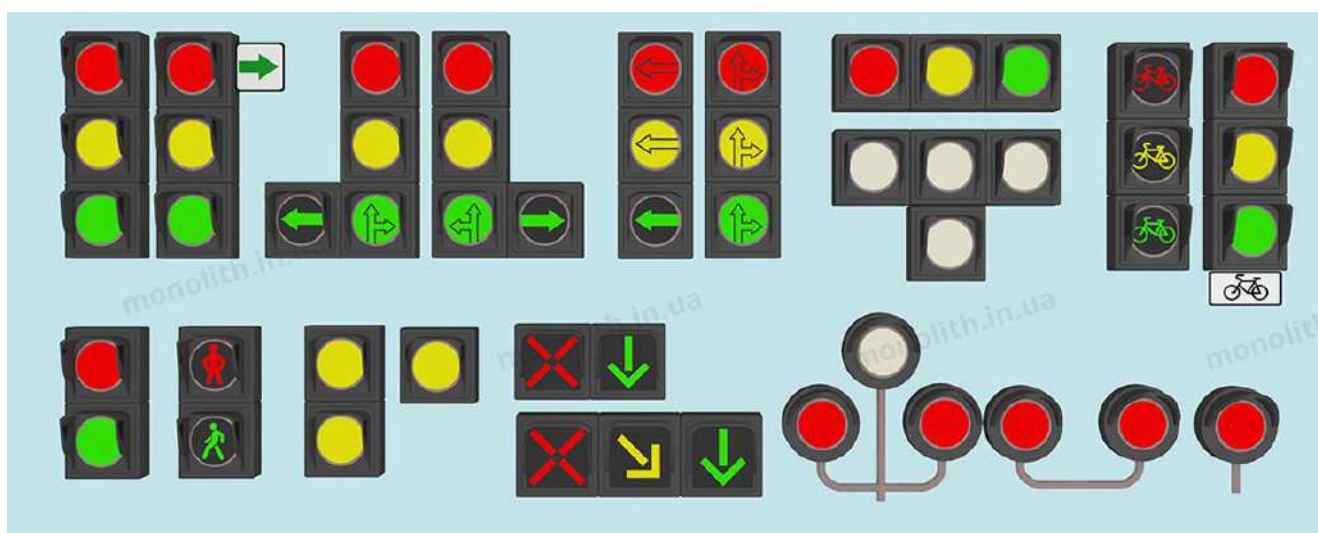


Рисунок 1.3 – Типи світлофорів, які зустрічаються на дорогах України [8]

В деяких випадках можуть використовуватися так звані "інтелектуальні" світлофори, які здатні адаптуватися до об'єму транспорту, потоку пішоходів та інших факторів. Вони можуть включати системи детекції руху, методи оптимізації руху та інші технології для забезпечення максимальної ефективності регулювання руху на дорогах.

Ще одним різновидом світлофорів є тимчасові світлофори, які встановлюються на дорогах під час проведення будівельних або ремонтних робіт. Їхнє призначення - забезпечити безпеку руху та організувати тимчасові режими руху для водіїв та пішоходів поблизу робочих зон [9].

Крім того, існують світлофори з додатковими функціями, такі як світлофори з камерами відеоспостереження або системами акустичного оповіщення для глухих людей або осіб вадами зору. Ці додаткові функції допомагають поліпшити безпеку на дорозі та забезпечити більш широкий доступ до інформації про стан руху.

Важливо також зазначити, що світлофори можуть бути встановлені не лише на поверхні дороги, але й на перехрестях різного рівня, в тунелях, на пішохідних мостах та в інших місцях, де потрібно регулювати рух транспорту та пішоходів. Таке розташування світлофорів дозволяє забезпечити безпеку та організованість руху на дорогах у різних умовах і місцевостях.

У світлофорах використовуються різні технології, включаючи LED та інші типи освітлення, щоб забезпечити яскраві та видимі сигнали у будь-який час доби та в будь-яких погодних умовах. Крім того, деякі світлофори оснащені додатковими функціями, такими як звукові сигнали для незрячих або цифрові табло, що вказують час до зміни сигналів.

Протягом тривалого часу світлофори були вважалися оптимальним рішенням для керування перехресними транспортними потоками. Однак сьогодні існує підозра, що світлофори можуть сприяти появі аварійної поведінки на дорозі. Через це багато міст почали переглядати своє систематичне використання світлофорів і надають перевагу іншим методам зниження швидкості транспортних засобів.

Проблема сучасних світлофорів полягає в тому, щоб забезпечити безпеку найбільш вразливих учасників дорожнього руху, таких як пішоходи та

велосипедисти, і зберегти їхню незалежність у середовищі з постійно змінними умовами руху. Використання систем розпізнавання світлофорів може виявитися доцільним рішенням у цьому контексті, оскільки вони дозволяють ефективно керувати транспортними потоками, враховуючи потреби різних категорій учасників дорожнього руху [10].

Жахлива статистика аварій на дорогах України є тривожним сигналом, що вимагає негайних дій для зміни ситуації на дорогах країни. На жаль, безвідповідальна поведінка певних водіїв, недодержання правил дорожнього руху та технічний стан транспортних засобів часто призводять до трагічних наслідків та людських втрат. Це не лише спричиняє біль і страждання сімей постраждалих, але й має серйозні соціальні та економічні наслідки для суспільства в цілому.

Шлях до зниження аварійності на дорогах та забезпечення безпеки учасників дорожнього руху лежить через посилення контролю з боку правоохоронних органів, проведення попереджувальних кампаній та підвищення усвідомленості кожного учасника дорожнього руху щодо важливості дотримання правил та відповідальної поведінки за кермом. Водії, пішоходи та інші учасники дорожнього руху повинні бути уважними та обережними на дорозі, а держава має створити необхідні умови та інфраструктуру для безпечного руху [11-13].

Тільки спільними зусиллями суспільства та держави можна досягти безпеки на дорогах та зменшити кількість жертв ДТП. Аналіз та обговорення статистичних даних про аварії та їх наслідки є важливою складовою в цьому процесі, оскільки вони дозволяють визначити основні проблемні місця, тенденції та пріоритети для подальших дій у напрямку поліпшення безпеки дорожнього руху.

У таблиці .1.1 наведена офіційна статистика Патрульної поліції України про кількість дорожньо-транспортних пригод в період за 1 квартал 2024 року, порівняння з статистикою за той самий період 2023 року та відсотковий показник оцінки збільшення або зменшення тенденції аварійності в областях.

Таблиця 1.1 – Дорожньо-транспортні пригоди за період з 01.01.2024 по 31.03.2024

Регіон	ДТП з загиблими та/або травмованими					
	загинуло			травмовано		
	2023	2024	%	2023	2024	%
Рівненська	20	34	70,0	161	73	7,5
*Запорізька	14	20	42,9	181	187	3,3
Чернігівська	16	21	31,3	130	141	8,5
Житомирська	23	30	30,4	239	210	-12,1
Хмельницька	22	28	27,3	188	186	-1,1
Закарпатська	18	21	16,7	81	113	39,5
Івано-Франківська	22	24	9,1	286	233	-18,5
Київська	39	40	2,6	411	432	5,1
Львівська	52	52	0	506	564	11,5
Полтавська	22	22	0,0	228	205	-10,1
Чернівецька	9	9	0	119	125	5,0
Одеська	36	35	-2,8	325	362	11,4
Харківська	41	37	-9,8	383	358	-6,5
Кіровоградська	20	18	-10,0	151	181	19,9
Миколаївська	26	22	-15,4	215	234	8,8
Дніпропетровська	69	55	-20,3	483	589	21,9
Вінницька	26	20	-23,1	184	161	-12,5
Сумська	14	10	-28,6	160	142	-11,3
*Донецька	52	36	-30,8	198	201	1,5
Тернопільська	21	14	-33,3	152	138	-9,2
Київ	29	13	12,5	455	412	-9,5
Волинська	27	16	-40,7	141	174	23,4
Черкаська	31	16	-48,4	161	171	6,2

Кінець таблиці 1.1 – Дорожньо-транспортні пригоди за період з 01.01.2024 по 31.03.2024

Регіон	2023	2024	%	2023	2024	%
*Херсонська	6	2	-66,7	36	48	33,3
АР Крим						
*Луганська						
Севастополь						
ЗАГАЛОМ	655	595	-9,2	5574	5740	3,0

Таблиця 1.1 представляє дані про дорожньо-транспортні пригоди, що трапилися у різних регіонах України протягом періоду з 1 січня 2024 року по 31 березня 2024 року. Вона містить інформацію про кількість загиблих та травмованих за цей період. Області, позначені символом * це регіони, в яких рівень аварійності може дещо різнитися через тимчасову окупацію та ведення бойових дій. Ці дані є корисними для аналізу та планування заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху та зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод у майбутньому.

Премія PIN (Премія індексу безпеки на дорогах) [14] – це щорічна нагорода, яка вручається країнам, які входять до європейського союзу за досягнення у сфері безпеки дорожнього руху. Цей індекс створений для порівняння та оцінки результатів країн у впровадженні заходів для зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод та постраждалих на дорогах. Вона вручається країнам, які показують найкращі результати у зменшенні кількості смертельних випадків та травматизму на дорогах. Країни, що досягли значного покращення у своїх показниках безпеки на дорогах, отримують визнання за свої зусилля та стимул до подальшого розвитку в цьому напрямку.

А тому, ця премія (рисунок 1.4) є важливим інструментом для стимулювання країн до впровадження новаторських підходів у сфері безпеки дорожнього руху та покращення дорожньо-транспортної інфраструктури. Вона також сприяє обміну досвідом між країнами та популяризації найкращих практик у цій галузі.

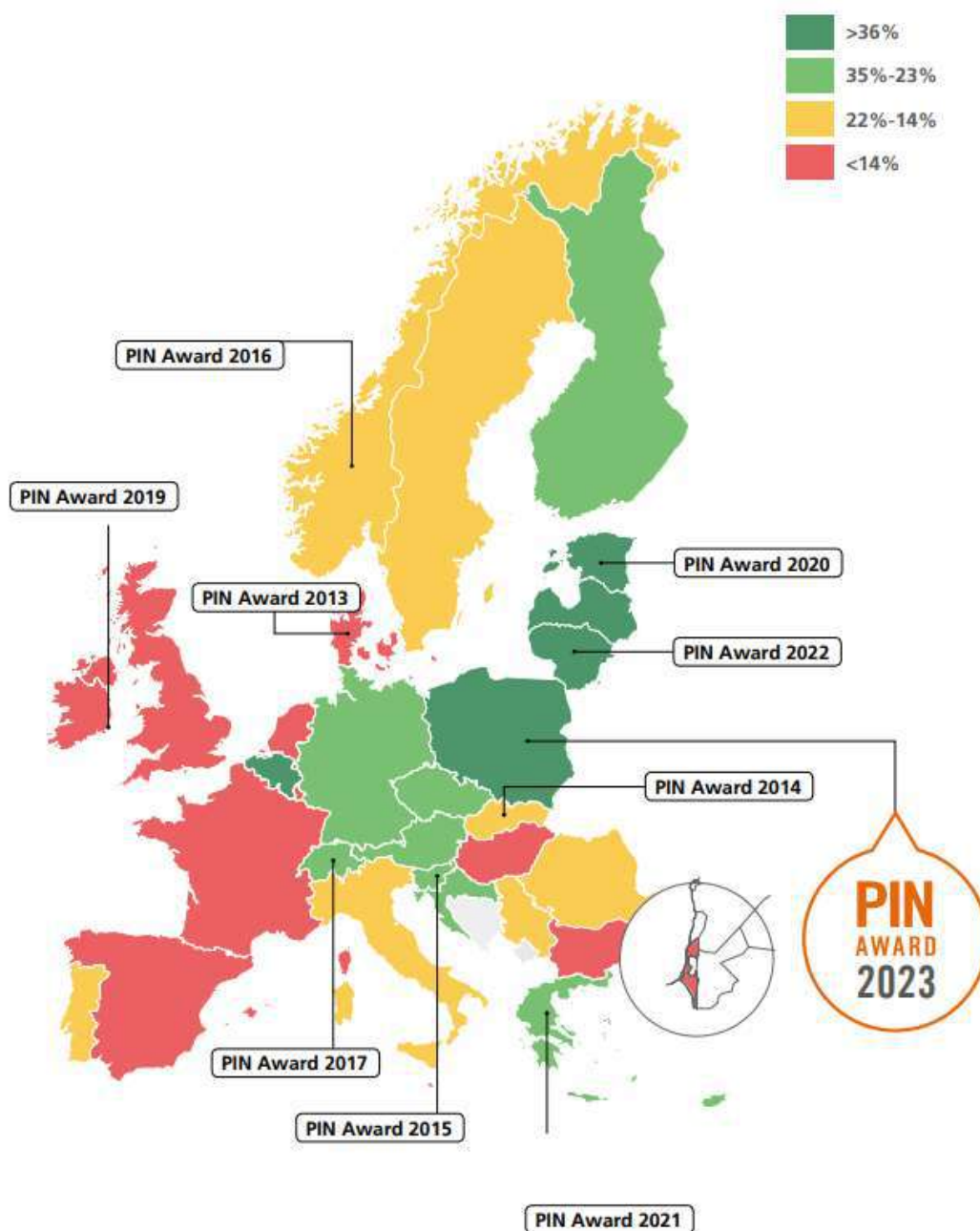


Рисунок 1.4 – Відносна зміна смертності на дорогах між 2012 та 2022 рр. та країни-отримувачі премії PIN премії за період 2012-2022 рр. [15]

З періоду моніторингу 32 країн за програмою PIN лише 13 зафіксували зменшення кількості смертей на дорогах у 2022 році порівняно з 2021 роком. Словенія посіла перше місце зі зменшенням на 25%, за нею йдуть Латвія з 23% та Литва і Кіпр з 18%. Кількість смертей на дорогах зросла в 19 країнах, що беруть участь в програмі PIN, між 2021 та 2022 роками.

Європейський союз встановив мету зменшити кількість смертей на дорогах удвічі до 2030 року, виходячи з рівня 2019 року. Кількість смертей на дорогах в ЄС27 у 2022 році зменшилася в цілому на 9% порівняно з 2019 роком. Щоб зробити необхідний прогрес досягнення цілі ЄС до 2030 року, середнє щорічне зменшення на 6.1% повинно було призвести до зменшення на 17.2%.

Оглядаючи останні десять років, загальний прогрес у зменшенні кількості смертей на дорогах ЄС був добрим у 2012 та 2013 роках, зі зменшенням на 8%. Але позитивний старт був наступним за шість років стагнації з лише 6% зменшенням протягом періоду 2014-2019 років.

У 2020 році спостерігалось виняткове зниження на 17% порівняно з 2019 роком. Однак цей результат був сильно пов'язаний з обмеженнями на подорожі по всій Європі через пандемію Covid-19. У 2021 році також було стійке зниження на 13% у порівнянні з 2019 роком, але кількість смертей на дорогах зросла на 5% у порівнянні з 2020 роком, вплинувши на поступове послаблення обмежень на подорожі та вимог до локдауну по всій Європі.

39,553 смертей на дорогах було відвернуто в ЄС протягом періоду 2013-2022 років порівняно з кількістю, яка б була зафіксована, якщо б кожна країна-член продовжувала записувати ту саму кількість кожен рік, як у 2012 році. Ще 40,987 життів могло б бути врятовано, якби було досягнуто щорічного зменшення на 6.7%, необхідного для досягнення цілі ЄС зі зменшення на 50% за 10 років.

Норвегія є найбезпечнішою країною РІН для учасників дорожнього руху з 21 смертю на мільйон жителів у 2022 році. Норвегія слідує Норвегії з 22 смертями на мільйон жителів.

У ЄС27 загальний рівень смертності на дорогах був 46 смертей на мільйон жителів у 2022 році порівняно з 54 на мільйон у 2012 році. Найвищий рівень смертності спостерігається в Румунії та Сербії з 86 та 83 смертями на мільйон жителів відповідно. В двох країнах – Мальті та Нідерландах – смертність на дорогах в 2022 році вища, ніж у 2012 році [16].

Використання системи розпізнавання світлофора має безпосередній вплив на безпеку дорожнього руху та може вирішувати такі завдання, як зменшення аварійності.

Система розпізнавання світлофора дозволяє автомобільним системам додати функціональність, що попереджує водіїв про стан світлофорів, тим самим уникнути ситуацій, коли водії не помічають зміну сигналів світлофора, що може призвести до аварій.

Також, ця система допомагає оптимізувати швидкість руху, надаючи водіям інформацію про очікуваний час до зміни сигналів, що дозволяє водіям адаптувати свою поведінку на дорозі. Крім того, інформація, надана системою розпізнавання світлофора, може бути використана для планування оптимального маршруту з мінімальними затримками через очікування на світлофорах [17].

У сучасних технологіях автономного водіння система розпізнавання світлофора також є важливим компонентом для виявлення і інтерпретації дорожніх сигналів для безпечного руху автономних транспортних засобів.

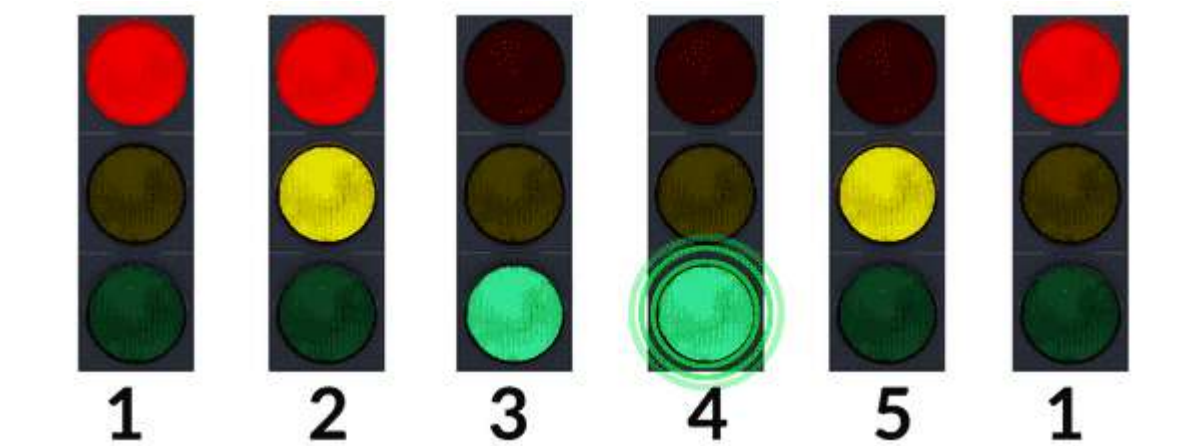


Рисунок 1.5 – Основні сигнали світлофора [18]

Світлофор – це не лише пристрій, що відображає різні кольори світлових сигналів (рисунок 1.5). Це складна технічна система, яка забезпечує координацію руху на перехрестях та зменшує ризик дорожньо-транспортних пригод. У

дослідженні глибоко розглядаються принципи роботи світлофорів, їхні типи та роль у покращенні безпеки на дорозі.

Сам світлофор складається з ряду світлових сигналів, які змінюються за таймером, або за допомогою кнопки, яку може натиснути пішохід для безпечного переходу проїзної частини [19].

Типи сигналів у світлофорі включають червоний, жовтий і зелений. Червоний сигнал означає зупинку, жовтий - готуйтесь до зупинки і надає право тим, хто вже в'їхав на перехрестя закінчити маневр, а зелений сигнал світлофора надає право на рух транспортних засобів.



Рисунок 1.6 – Світлофор в режимі зеленого сигналу з таймером

Принцип дії світлофора полягає в черговій зміні кольорів світлових сигналів, які вказують водіям, коли можна рухатися і коли потрібно зупинитися. Це робиться за допомогою електронної системи, яка керує лампами розжарювання або світлодіодними панелями [20].

На рисунку 1.6 зображено світлофор з таймером для зручного прогнозування часу, необхідного для безпечного проїзду перехрестя.

Щоб розпізнати світлофори на дорозі, можна скористатися глибокими нейронними мережами (DNN) та зокрема згортко нейронними мережами (CNN). Ці мережі фактично навчаються розуміти зображення, подібно до того, як мозок людини вчитиметься розрізняти об'єкти на фотографіях.

Коли зображення подається на вхід до такої мережі, вона розбиває його на багато малих частин які називаються фільтрами. Кожен фільтр намагається виявити певні характеристики на зображенні, наприклад, кут або контур об'єкта. Потім мережа поєднує ці характеристики, щоб зрозуміти, що саме зображено на фотографії [21].

Коли мережа навчається на великій кількості зображень світлофорів, може дуже точно розпізнати їх на нових зображеннях. Навіть якщо світлофор на зображенні знаходиться в різних місцях або відображений під різним кутом, CNN може успішно впоратися з цим завданням. Такий підхід дозволяє нам ефективно виявляти світлофори на дорозі та виконувати дії, пов'язані з безпекою на дорозі.

Глибокі нейронні мережі можуть навчитися розрізняти кольори світлофора та визначати їхнє становище (червоний, жовтий, зелений). Кожен колір має свої унікальні особливості, і навчання мережі розрізняти їх може бути складним завданням. Проте, після достатнього навчання мережа може ефективно визначати кольори світлофора на зображеннях. Приклад розпізнавання сигналу світлофора показано на рисунку 1.7.

Після виявлення світлофора на зображенні, можна застосувати техніки відстеження руху, щоб слідкувати за його положенням на відеопотоці, який записує камера, яка, в свою чергу, направлена на дорогу. Це дозволить системі постійно

відстежувати дорожню обстановку в пошуках світлофора та реагувати на будь-які зміни його сигналів.

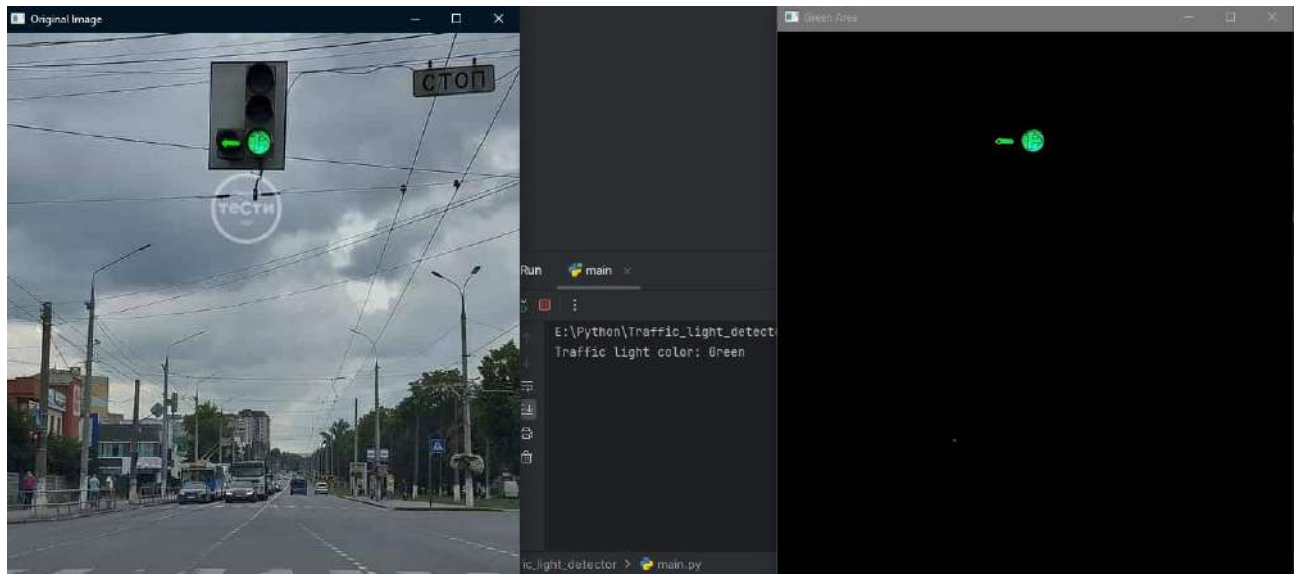


Рисунок 1.7 – Визначення кольору світлофора та виділення області в якій розпізнано зелений колір

Тому, використання глибоких нейронних мереж для розпізнавання світлофора надає ефективний та точний спосіб автоматичної ідентифікації цього важливого елемента на дорозі [22].

Система розпізнавання світлофора важлива для водіїв, оскільки вона дозволяє автоматично виявляти колір сигналу і надавати відповідне попередження водіям. Це допомагає уникнути порушень правил дорожнього руху, зменшити ризик дорожньо-транспортних пригод та підвищити загальний рівень безпеки на дорозі.

Система розпізнавання світлофора надає водіям важливу інформацію про поточний стан дорожньої ситуації, особливо у випадках, коли видимість обмежена або коли водії не можуть чітко бачити сигнали світлофора через різні фактори, такі як погодні умови, затемнення або інші перешкоди.

Важливість системи розпізнавання світлофора полягає в тому, що вона допомагає водіям своєчасно реагувати на зміни сигналів і виконувати необхідні дії відповідно до правил дорожнього руху.

Наприклад, якщо світлофор показує червоний сигнал, а водій продовжує рух, тоді система розпізнавання може автоматично сповістити водія про необхідність зупинити автомобіль. Це особливо важливо для уникнення аварій або конфліктних ситуацій на дорозі [23].

1.2 Огляд відомих рішень

Огляд відомих рішень у контексті розпізнавання світлових сигналів на дорозі розкриває різноманітні підходи та техніки, що застосовуються для цієї задачі. Переважна більшість сучасних систем ґрунтується на використанні комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматизованого розпізнавання світлових сигналів на дорожній обстановці.

В сучасному світі безпека на дорозі є однією з найважливіших проблем, що вимагає постійного удосконалення та розвитку інноваційних рішень. Одним із ключових елементів вирішення цієї проблеми є розпізнавання світлофора, яке виконує важливу роль у керуванні дорожнім рухом та попередженні можливих конфліктів на дорозі.

Розпізнавання світлофора за допомогою спеціалізованих систем дозволяє ефективно контролювати рух транспортних засобів та забезпечувати безпеку учасників дорожнього руху. Попередні дослідження також висвітлюють застосування технологій комп'ютерного зору та обробки зображень для вирішення проблеми розпізнавання світлових сигналів на різних типах доріг та в умовах різного освітлення.

Підходи, які використовують адаптивні методи обробки зображень та навчання з учителем, виявляються особливо ефективними в умовах низького контрасту, різних погодних умов та різноманітних архітектур світлофорів [24].

У зв'язку з цим важливо провести огляд відомих систем розпізнавання світлофорів, їх методів та характеристик з урахуванням їхнього потенційного використання у підсистемі розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху.

Таблиця 1.2 – Огляд відомих рішень

Тема	Метод	Переваги	Недоліки
Виявлення та розпізнавання світлофора для автономних транспортних засобів [25].	Для розпізнавання світлових сигналів на основі камери використовуються методи функцій гістограм орієнтованих градієнтів (HOG) та метод опорних векторів (SVM).	HOG: дозволяє описувати форму та текстуру об'єктів у зображеннях шляхом аналізу градієнтів яскравості; SVM: дозволяє точно визначати стан світлофора на зображеннях.	Обидва методи можуть бути вимогливими до обчислень, особливо при обробці великої кількості даних у реальному часі.
Виявлення пішохідних світлофорів у реальному часі [26].	Система використовує комбінацію глибокої згорткової мережі (CNN) та модуля прийняття рішення.	Використання глибокої згорткової мережі дозволяє досягти високої точності виявлення пішохідних світлофорів та їх стану.	Незважаючи на швидкість обробки на персональному комп'ютері, метод є складним для роботи в реальному часі на мобільному телефоні.

Кінець таблиці 1.2 – Огляд відомих рішень

Тема	Метод	Переваги	Недоліки
Ефективне виявлення світлофорів на основі технічного зору та розпізнавання станів для автономних транспортних засобів [27].	Система використовує комбінацію CNN, HOG, SVM та MSER.	Використання декількох методів дозволяє досягнути максимально чіткого розпізнавання областей світлофора.	Для використання декількох методів розпізнавання світлофора вимагає великої обчислювальної потужності системи, що призводить до вибору потужніших процесорів та апаратних систем.
Підхід до виявлення та розпізнавання світлофорів на основі технічного зору для інтелектуальних транспортних засобів [28].	Метод базується на аналізі кольору та машинному навчанні, зокрема на методі SVM для класифікації кольорів світлофорів.	Простота та ефективність: застосований метод дозволяє швидко та точно реагувати на їхній стан та не вимагає потужних апаратних систем.	Залежність від освітлення та кольору: Метод малоефективний у ситуаціях зі змінним освітленням та кольором, що може призводити до неточностей у визначенні стану світлофора.

У таблиці 1.2 розписані відомі рішення, застосовані методи, їхні основні переваги та недоліки, що використовуються у системах розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху. Кожен рядок таблиці містить інформацію про конкретний метод або технологію, його переваги та недоліки [29].

1.3 Постановка задачі

Система розпізнавання світлових сигналів світлофора спрямована на покращення безпеки на дорогах та запобігання аваріям. В даній роботі планується вирішити цю проблему через розробку та впровадження ефективних систем контролю за додержанням правил дорожнього руху, аналіз факторів, що призводять до аварій, вдосконалення безпеки дорожнього руху, а також постійний моніторинг та аналіз статистичних даних щодо аварійності.

Потрібно розробити кіберфізичну систему, яка забезпечуватиме безпеку дорожнього руху шляхом попередження транспортних пригод на дорозі з регульованим рухом за допомогою розпізнавання світлових сигналів світлофора.

Система повинна мати здатність розпізнавати кольори світлових сигналів (червоний, жовтий, зелений) та визначати відстань до світлофора для вчасного попередження водіїв про зміну сигналу. Це може бути досягнуто шляхом поєднання технологій комп'ютерного зору, обробки відеоданих, а також використання датчиків відстані, які встановлюються на автомобілях. Головною метою системи є підвищення безпеки на дорозі та зменшення ризику дорожньо-транспортних пригод шляхом надання водіям достатньої інформації для своєчасної реакції на зміну сигналу світлофора [30].

Також, система повинна:

- 1) складатися з доступних комплектуючих;
- 2) бути надійною та стійкою до перешкод та втручань;
- 3) мати високу точність розпізнавання світлових сигналів;
- 4) швидко обробляти відеопотік у реальному часі;
- 5) здатною працювати в різних погодних та освітлювальних умовах.

1.4 Висновки

У цьому розділі було розглянуто загальне поняття про світлофор, його історію, принцип дії, його види. Також було проведено аналітику дорожньо-транспортних пригод в Україні за січень та лютий 2024 року, а також було розглянуто дані з програми PIN за період з 2021 по 2022 рік, з яких можна зробити кілька важливих висновків щодо безпеки дорожнього руху в країнах Європейського союзу.

Було розглянуто різні методи, такі як глибокі нейронні мережі (CNN), метод опорних векторів (SVM), гістограми орієнтованих градієнтів (HOG) та інші. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки, але вибір оптимального методу залежить від конкретних потреб та обмежень системи [31].

У підсумку, вибір оптимального методу для розпізнавання світлофорів залежить від конкретних умов і вимог проекту. Важливо забезпечити баланс між точністю розпізнавання, продуктивністю та вартістю розробки, щоб створити ефективну та надійну систему для автономних транспортних засобів.

Також було наведено огляд різних методів виявлення та розпізнавання світлофорів для автономних транспортних засобів. Кожен метод має свої переваги та недоліки, які потрібно враховувати при виборі оптимального рішення для конкретної системи. Зокрема, методи, що використовують глибокі згорткові мережі (CNN), забезпечують високу точність, але можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів. З іншого боку, методи, що базуються на аналізі кольору та машинному навчанні, можуть бути менш вимогливими до обчислювальних ресурсів, але більш чутливими до змін освітлення та кольору. Враховуючи специфіку конкретного застосування та наявні обмеження, вибір оптимального методу розпізнавання світлофорів для автономних транспортних засобів потребує уважного аналізу та експериментів [32].

2 ВИБІР АПАРАТНОЇ СКЛАДОВОЇ ТА МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОВИХ СИГНАЛІВ СВІТЛОФОРА

2.1 Огляд апаратної складової

Для апаратної системи розпізнавання світлових сигналів регульовальних засобів дорожнього руху буде використана Raspberry Pi 3. Цей потужний одноплатний комп'ютер відомий своєю надійністю, невеликими розмірами та низькою вартістю, що робить його ідеальним вибором для вбудованих систем на основі Linux.

Використання Raspberry Pi 3 (рисунок 2.1) в системі попередження дорожньо-транспортних пригод дозволяє забезпечити потужність обчислень для обробки даних з датчиків, розпізнавання зображень та виконання алгоритмів штучного інтелекту. Його можливості забезпечують стабільну та швидку роботу системи, що важливо для ефективного реагування на зміни у дорожній ситуації та попередження можливих аварій [33].

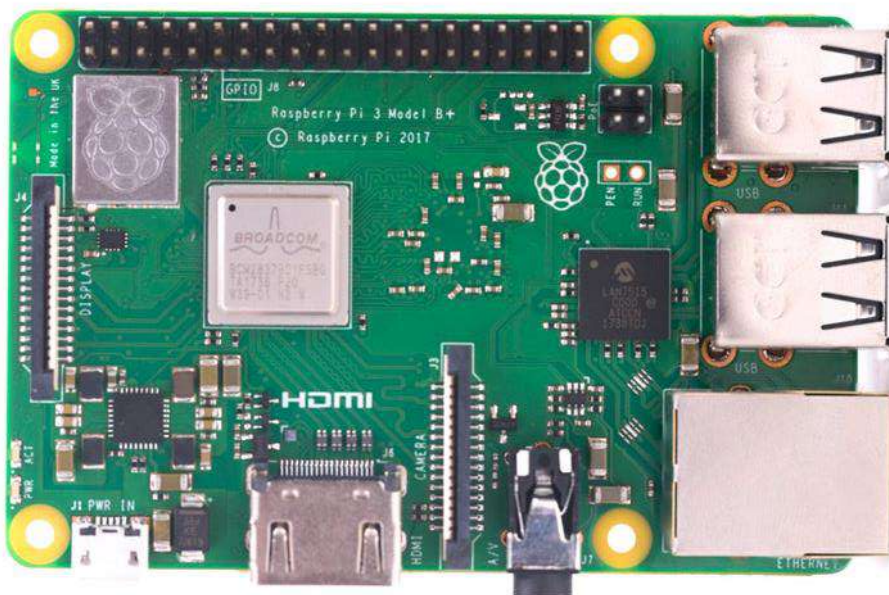


Рисунок 2.1 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3 (вигляд зверху) [33]

Платформи Raspberry Pi найчастіше використовується там, де бракує потужностей мікроконтролері родини Arduino та її подібних. Хоча загалом програми для Raspberry Pi є меншими, проте вона найбільш популярна при розробці високорівневих додатків. Крім того, Raspberry Pi є відкритою платформою, де можна знайти багато відповідної інформації, тож її можна налаштувати відповідно до потреб.

Основні переваги та кілька прикладів, коли Raspberry Pi 3 є найкращим вибором між іншими мікроконтролерами, мікрокомп'ютерами та платами розробки:

1) обробка великої кількості даних: Raspberry Pi 3 має потужний чотирихядерний процесор з тактовою частотою 1.2 ГГц та 1 ГБ оперативної пам'яті, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних з камер та інших сенсорів для розпізнавання світлових сигналів;

2) підтримка бездротового зв'язку: Raspberry Pi 3 має вбудований модуль бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє легко підключатися до мережі Інтернет та обмінюватися даними з іншими пристроями. Це дозволяє використовувати Raspberry Pi для отримання додаткових даних або надсилання зібраних даних до інших систем;

3) підтримка зовнішніх пристроїв: Raspberry Pi 3 має різноманітні порти вводу-виводу, що дозволяє легко підключати зовнішні сенсори, камери та інші пристрої. Це робить його ідеальним вибором для інтеграції з різними типами обладнання, які можуть бути використані для розпізнавання світлових сигналів;

4) можливості програмування: Raspberry Pi працює на операційній системі Linux і підтримує різні мови програмування, що дозволяє розробникам легко розробляти та налаштовувати програмне забезпечення для розпізнавання світлових сигналів з урахуванням конкретних потреб системи [34];

5) наявність різноманітних додаткових можливостей: Raspberry Pi 3 підтримує різні функції, такі як потокове відео в HD-роздільності, що може бути корисним для реалізації системи розпізнавання світлових сигналів у високій якості.

Завдяки своїм характеристикам та гнучкості, Raspberry Pi 3 забезпечить ефективну та надійну роботу системи з можливістю розширення та налаштування під конкретні потреби проект в майбутньому, а також є відмінним рішенням для використання в системах безпеки на дорозі та забезпечення безпеки учасників руху [35].

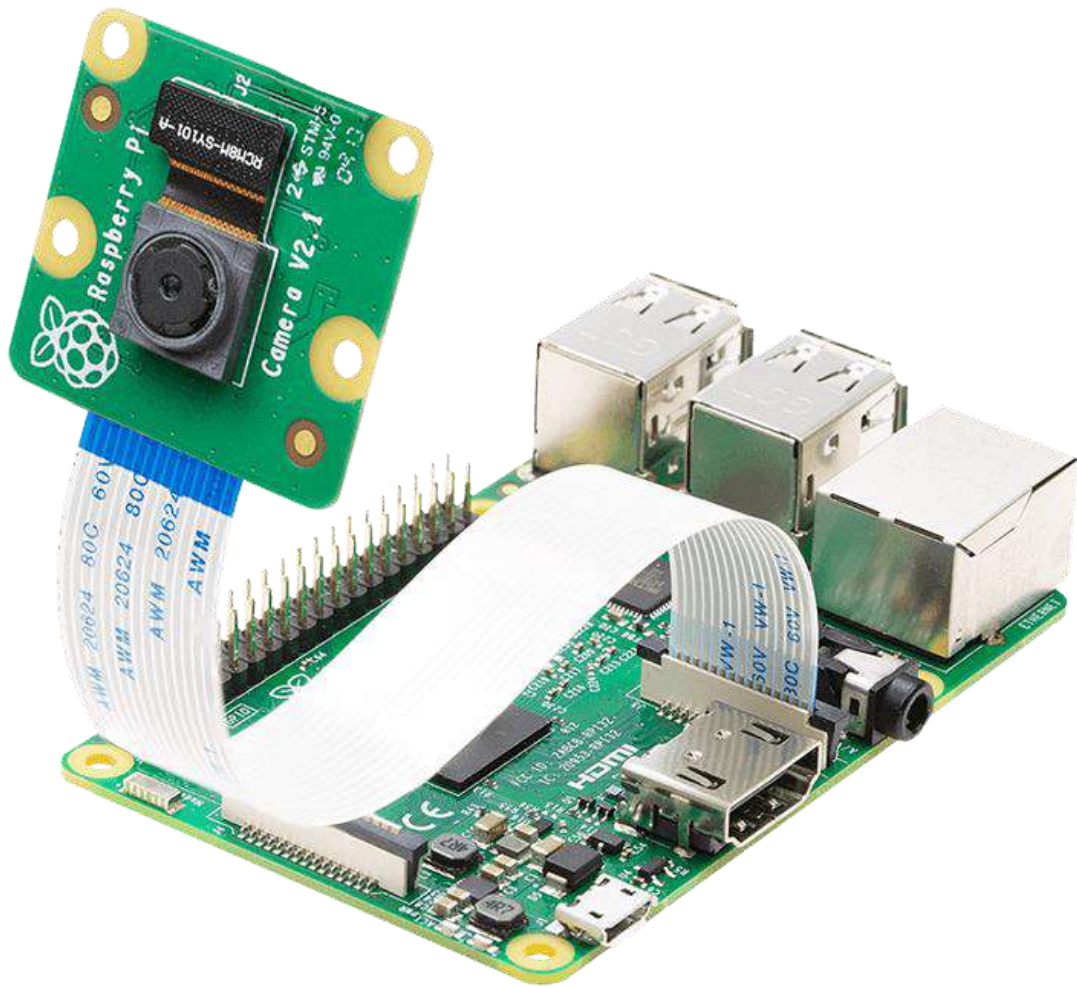


Рисунок 2.2 – Raspberry Pi 3 та модуль камери Raspberry Pi V2.1 [35]

Одним з ключових компонентів таких систем є камера, яка здатна захоплювати зображення світлофорів та їх станів. У цій підсистемі буде використовуватись модуль камери Raspberry Pi V2.1 з роздільною здатністю 8 мегапікселів виявляється дуже перспективним інструментом. Компактність, легкість використання та висока роздільна здатність роблять його ідеальним вибором для використання в системах розпізнавання світлових сигналів на дорогах.

Нижче, рисунку 2.2 зображено Raspberry Pi 3 з під'єднаним модулем камери V2.1, а також наведено докладний огляд доцільності використання даного модуля у відповідному контексті.

Модуль камери Raspberry Pi V2.1 з роздільною здатністю 8 мегапікселів є потужним інструментом для захоплення зображень у системах розпізнавання світлових сигналів на дорогах. Ось основні переваги та доцільність використання цього модуля в підсистемі розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху [36]:

1. Висока роздільна здатність: модуль камери Raspberry Pi V2.1 забезпечує високоякісне захоплення зображень з роздільною здатністю 8 мегапікселів. Це дозволяє забезпечити деталізовану інформацію про стан світлофорів та навколишнє середовище.

2. Компактність та легкість використання: розміри модуля камери Raspberry Pi V2.1 дозволяють легко вбудовувати його в різні пристрої та системи. Він працює разом з Raspberry Pi, що забезпечує зручний доступ до зображень та їх обробку.

3. Сумісність з Raspberry Pi: модуль камери розроблений спеціально для використання з Raspberry Pi, що забезпечує оптимальну сумісність та легкість інтеграції. Він працює під управлінням операційної системи Raspbian, яка має широкі можливості для обробки зображень та взаємодії з іншими компонентами системи.

4. Ефективність у різних умовах освітлення: модуль камери Raspberry Pi V2.1 добре пристосований до роботи в різних умовах освітлення, включаючи яскраве сонячне світло, тінь чи штучне освітлення та сутінки. Це дозволяє надійно захоплювати зображення світлофорів у будь-яких умовах.

5. Вартість: однією з переваг використання модуля камери Raspberry Pi V2.1 є його доступна вартість порівняно з іншими високоякісними камерами. Це робить його привабливим вибором для використання в різних системах розпізнавання та моніторингу дорожнього руху [37].

Також в системі буде використовуватись 7-ми дюймовий дисплей для виводу зображення, індикації стану світлофора, а також іншої корисної інформації з інших підсистем. На рисунках 2.3 та 2.4 зображено дисплей із спеціальним корпусом, в якому є місце для установки мікрокомп'ютера Raspberry PI 3 та іншого електронного начиння.

Даний дисплей є корисним компонентом в системі розпізнавання світлофорів, оскільки забезпечує зручний інтерфейс для відображення відповідного інформаційного та візуального контенту. Відображення даних про стан світлофора, виявлення пішохідних світлофорів або відображення додаткових відомостей з інших підсистем сприяє покращенню безпеки на дорозі та підвищенню ефективності системи розпізнавання світлофорів. Крім того, збереження безпеки та мобільність корпусу допоможе забезпечити надійну роботу системи в різних умовах експлуатації.



Рисунок 2.3 – Дисплей для Raspberry PI 3 B+ (вигляд спереду) [37]

Переваги дисплея до Raspberry Pi 7":

- 1) зручність у використанні: даний дисплей має діагональ 7", що робить його ідеальним рішенням для візуалізації даних або роботи з інтерфейсом Raspberry Pi;
- 2) інтегрована конструкція: корпус дисплея спеціально розроблений для зручної збірки разом з мінікомп'ютером Raspberry Pi версій B+/2/3. Це дозволяє використовувати їх як єдину систему без необхідності окремого монтажу;
- 3) повний доступ до портів: корпус має всі необхідні отвори для підключення кабелів до всіх портів Raspberry Pi, включаючи USB, HDMI, живлення, композитний та інші;
- 4) збереження безпеки: дисплей і Raspberry Pi знаходяться в міцному корпусі зі зносостійкого пластику ABS, що допомагає захистити їх від пошкоджень та забезпечує чудове використання в умовах автомобіля;
- 5) гнучкість у встановленні: корпус оснащений слотом для камери і має можливість монтажу на стіну, що робить його відмінним вибором для різних проектів[38].

Недоліки дисплея до Raspberry Pi 7":

- 1) обмежена сумісність: даний корпус призначений для використання з конкретними версіями мінікомп'ютера Raspberry Pi, що може обмежувати його універсальність. Так як в даній системі використовується Raspberry Pi 3 B+ потреба в універсальності відпадає;
- 2) відсутність захисту від води: хоча корпус забезпечує деякий рівень захисту, він не зовсім підходить для використання в умовах високої вологості або під впливом води. Так як це є прототип, тому тут першочерговою є програмна та апаратна складова, тому немає потреби в повній герметичості.

2.2 Вибір моделі для розпізнавання світлофорів

Вибір моделі є критичним етапом у розробці системи контролю дорожнього руху. Цей вибір визначає ефективність та точність роботи системи, її здатність

адаптуватись до різноманітних умов дорожнього середовища та впливу факторів, таких як освітлення, погодні умови, рух транспорту тощо.



Рисунок 2.4 – Дисплей для Raspberry PI 3 B+ та сам мікрокомп'ютер в корпусі (вигляд ззаду) [39]

Під час вибору моделі слід враховувати різноманітні фактори, такі як потужність обчислювальних ресурсів, вимоги до швидкості обробки даних у реальному часі, а також точність та стійкість моделі до шумів та артефактів у вхідних даних.

Крім того, важливо оцінити працездатність моделі у різних умовах експлуатації, включаючи різні освітленість, кути огляду та різні типи світлофорів. Враховуючи ці фактори, важливо підібрати модель, яка найкращим чином відповідає потребам конкретної системи контролю дорожнього руху і забезпечить найвищу ефективність та надійність роботи [40].

Для системи розпізнавання світлофорів, яка працює на обмежених обчислювальних ресурсах, також стає важливим питання оптимізації та вибору ефективного методу розпізнавання.

На слабких системах, таких як вбудовані пристрої або мобільні платформи, важливо обирати методи, які забезпечують достатню точність розпізнавання при мінімальному навантаженні на систему.

У даному випадку, вибір між методом YOLOv4 та моделлю кольорової сегментації на основі простору кольорів HSV потребує уважного аналізу. Хоча YOLOv4 може забезпечити високу точність розпізнавання об'єктів, він може бути вимогливим до ресурсів системи, особливо при обробці великої кількості даних у реальному часі. З іншого боку, модель кольорової сегментації може бути менш вимогливою до ресурсів і забезпечувати достатню точність розпізнавання на основі аналізу кольорів світлофорів [41].

Важливо врахувати, що модель кольорової сегментації може бути менш надійною в умовах зміни освітлення або наявності шуму у зображенні. Також слід враховувати можливість комбінування обох методів для досягнення більшої точності та стійкості системи. Тому вибір оптимального методу повинен здійснюватись з урахуванням специфіки конкретної системи, її обчислювальних можливостей та вимог до точності розпізнавання.

2.3 Модель YOLOv4

YOLOv4 розшифровується як YOLO (You Only Look Once), відомого своїми можливостями виявлення об'єктів. Він був запущений 10 січня 2023 року компанією Ultralytics, знаменуючи значний прогрес у серії YOLO. Цю версію було розроблено після масштабних досліджень Ultralytics з метою перевершити продуктивність своїх попередників шляхом введення різноманітних модифікацій [42].

Ця модель належить до категорії найсучасніших моделей виявлення об'єктів і сегментації зображень. Він був розроблений для виконання високошвидкісних і

високоточних завдань у цих областях, що робить його ключовим гравцем у сфері комп'ютерного зору [43].

Архітектура YOLOv4 є еволюцією попередніх моделей YOLO, в якій використовується згорткова нейронна мережа, розділена на дві основні частини: магістраль і голову. Магістраль заснована на модифікованій версії архітектури CSPDarknet53, що складається з 53 згорткових рівнів, удосконалених міжступневими частковими з'єднаннями. Голова складається з кількох згорткових шарів, за якими йдуть повністю пов'язані шари, відповідальні за прогнозування обмежувальних рамок, показників об'єктності та ймовірностей класу.

Примітно, що YOLOv4 інтегрує механізм самоконтролю в головній частині мережі та пірамідну мережу функцій для масового виявлення об'єктів, що дозволяє фокусуватися на різних частинах зображення та виявляти об'єкти різних розмірів і масштабів. Приклад розпізнавання світлофорів цією моделлю показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Розпізнавання кольорів світлофора моделлю YOLOv4 [44]

Завдяки можливостям виявлення об'єктів у реальному часі YOLOv4 знаходить застосування в різноманітних сферах. Деякі з популярних випадків використання включають:

1. Автономні транспортні засоби : для виявлення об'єктів у режимі реального часу в безпілотних автомобілях.
2. Спостереження : використовується в системах спостереження для відстеження об'єктів і людей у реальному часі.
3. Роздрібна торгівля : використовується для моніторингу рівня запасів, виявлення крадіжок у магазинах і спостереження за поведінкою клієнтів.
4. Медична візуалізація : застосовується для виявлення та класифікації медичних аномалій, таких як пухлини та переломи.
5. Сільське господарство : використовується для моніторингу росту культур, виявлення хвороб і ідентифікації шкідників.
6. Робототехніка : допомагає роботам розпізнавати об'єкти та взаємодіяти з ними [45].

Модель YOLOv4 розбиває вхідні дані мережі на одиниці сітки $S \times S$. Потім кожна одиниця сітки прогнозує обмежувальну рамку B , достовірність обмежувальної рамки та ймовірність категорії C . Достовірність передбаченої обмежувальної рамки відображає, чи містить передбачена обмежувальна рамка об'єкт i , якщо так, точність його розташування. Точність виражається як перетин над об'єднанням (IOU) прогнозованої граничної області (прог) та реальної граничної області (реал) відповідно до формули:

$$\text{достовірність} = \text{Pr}(\text{об'єкту}) \times IOU_{\text{прог}}^{\text{реал}}, \quad 2.1$$

де достовірність – це достовірність обмежувальної рамки, а $\text{Pr}(\text{об'єкту})$ — це ймовірність виявлення об'єкта в сітці [46].

Мережа вилучення функцій CSPDarknet-53 заснована на Darknet-53 і оптимізована шляхом додавання міжетапної стратегії злиття функцій [47]. Щоб запобігти отриманню повторюваної інформації про градієнти на різних шарах, ідея розділення та злиття впроваджується на етапах, щоб максимально збільшити відмінності в комбінаціях градієнтів. У процесі поділу та злиття потік градієнта

скорочується, що означає, що інформація про градієнт не використовуватиметься повторно, а генерування надлишкової інформації буде зведено до мінімуму. Застосування стратегії міжетапного злиття функцій до локальної мережі Darknet-53 може зменшити обчислювальну складність мережі вилучення функцій і підвищити швидкість і точність міркувань мережі. Стратегія міжетапного об'єднання ознак показана на рисунку 2.6 .

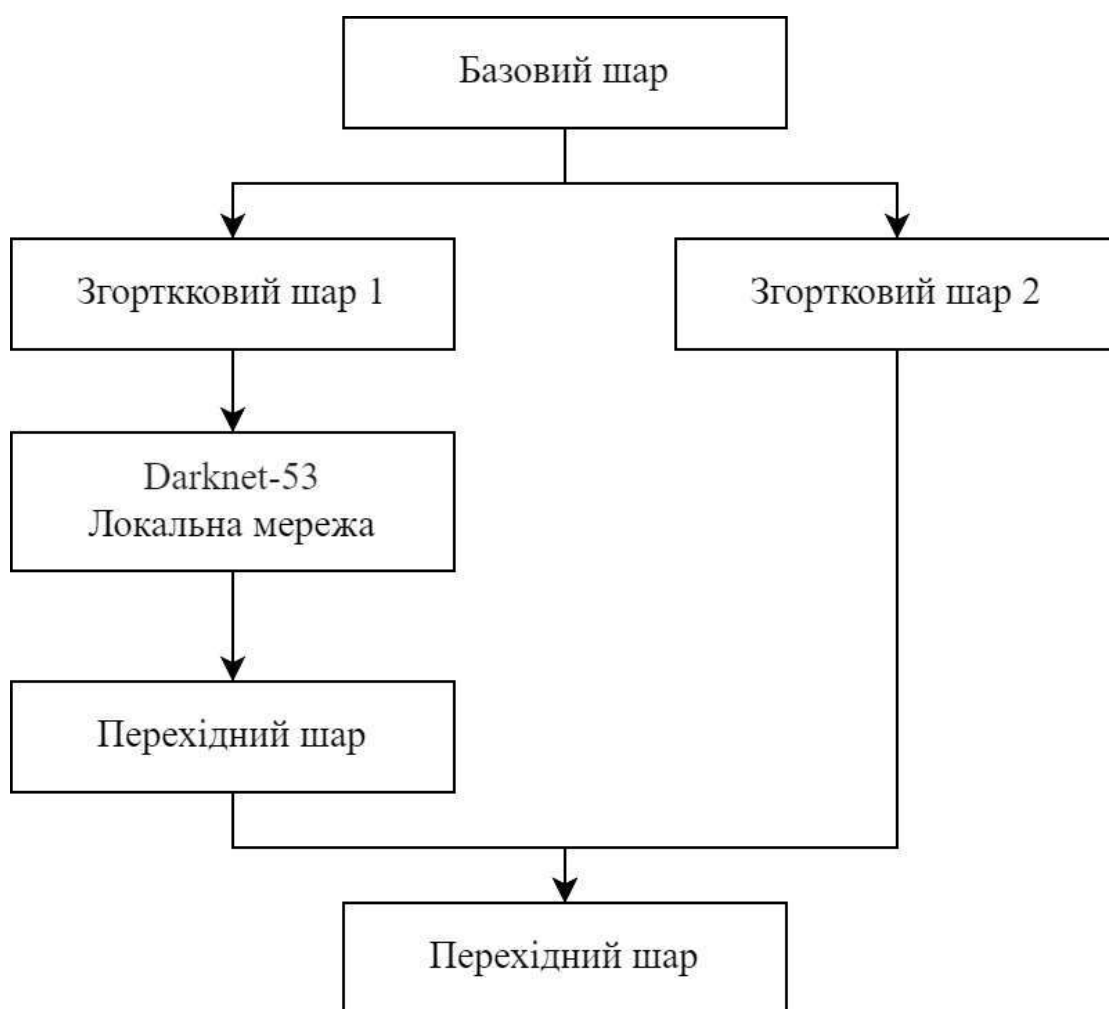


Рисунок 2.6 – Стратегія міжсценічного злиття функцій.

Голова складається з кількох згорткових шарів, за якими йдуть повністю пов'язані шари, відповідальні за прогнозування обмежувальних рамок, показників об'єктності та ймовірностей класу [48].

CSPDarknet-53 зберігає оригінальні 52 згорткові шари в Darknet-53 і додає стратегію міжетапного об'єднання функцій до локальної мережі Darknet-53, щоб ефективно зменшити можливість дублювання в процесі інтеграції інформації.

Додатково можна відзначити, що використання згорткових шарів у голові моделі дозволяє відділяти різні ознаки та характеристики об'єктів на зображенні, що є важливим для точного розпізнавання об'єктів у складних умовах. Міжетапне об'єднання функцій у CSPDarknet-53 допомагає знизити рівень дублювання інформації та забезпечити ефективну інтеграцію даних для більш точного прогнозування обмежувальних рамок та класифікації об'єктів. Такий підхід підвищує якість та швидкодію моделі, що робить її більш придатною для застосування в різних сферах, включаючи комп'ютерне зорове сприйняття, розпізнавання образів та автоматичне керування системами. Схема структури мережі показана на рисунку 2.7.

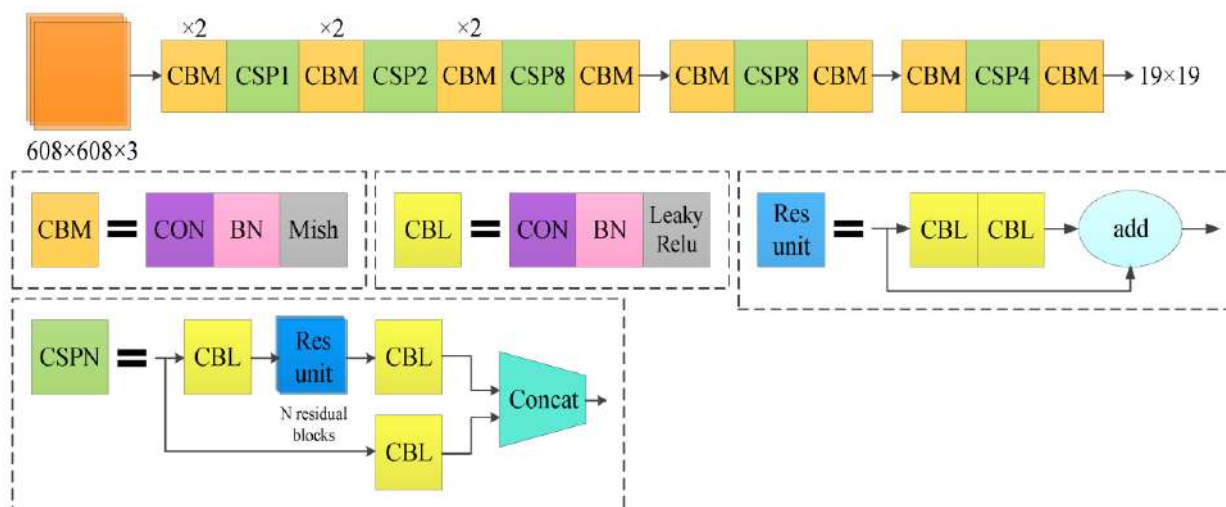


Рисунок 2.7 – Структурна схема мережі CSPDarknet-53 [49]

Порівняно з Darknet-53, CSPDarknet-53 може значно зменшити кількість необхідних обчислень, збільшити швидкість обчислення мережі, зменшити споживання мережевої пам'яті та підвищити точність мережі.

Механізм самоконтролю в YOLOv4 дозволяє системі активно регулювати ваги та параметри нейронних мереж під час навчання, що допомагає покращити

якість та точність розпізнавання об'єктів. Він дозволяє адаптивно налаштувати модель під конкретні умови та особливості датасету, що забезпечує більш ефективне навчання та роботу системи в реальних умовах.

Пірамідна мережа функцій в YOLOv4 дозволяє системі фокусуватися на різних частинах зображення та виявляти об'єкти різних розмірів і масштабів. Це дозволяє моделі ефективно виявляти як малі, так і великі об'єкти на зображенні, забезпечуючи більш широкий спектр застосування моделі для різних завдань об'єктного виявлення. На рисунку 2.8 зображено структуру мережі YOLOv4.

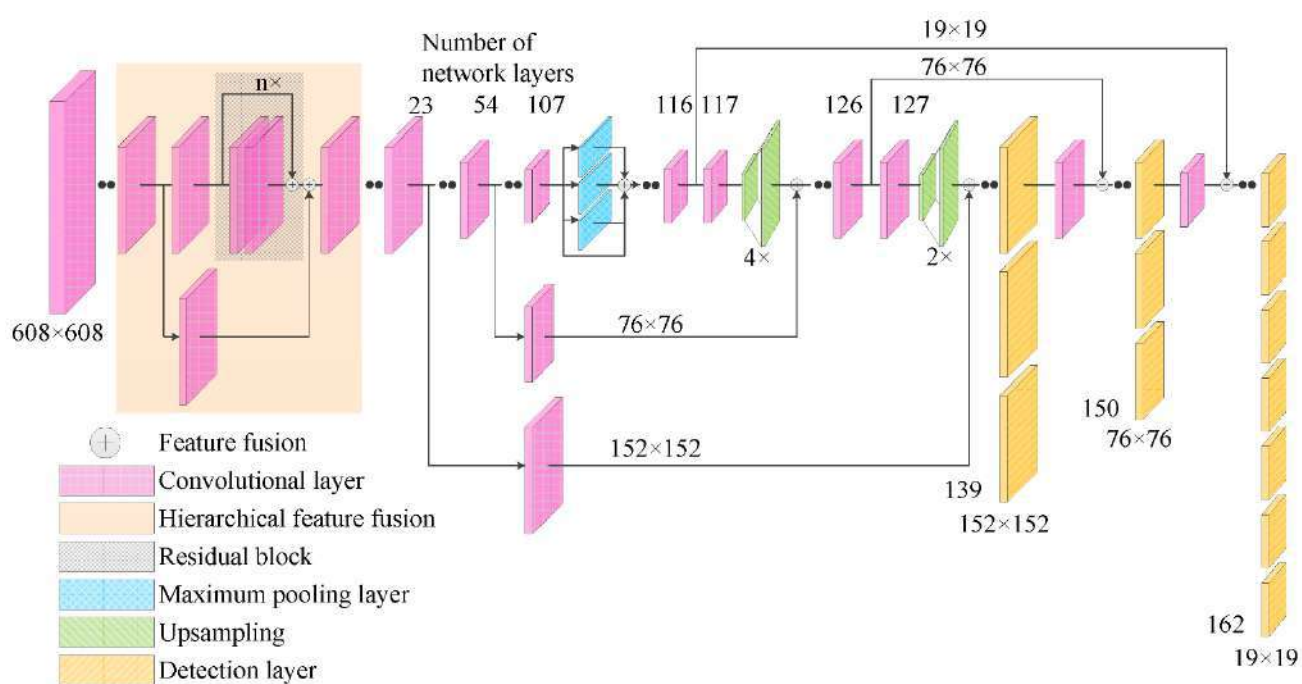


Рисунок 2.8 – Структура мережі моделі YOLOv4 [50]

Функція втрат моделі YOLOv4 складається з трьох частин: помилка передбачення координат обмежувальної рамки, достовірна помилка обмежувальної рамки та помилка передбачення категорії. Формула розрахунку функції втрат моделі YOLOv4 показана як рівняння 2.2, а значення кожного параметра функції втрат наведено в таблиці 2.1 [51].

$$\begin{aligned}
Loss = & \lambda_{\text{coord}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} (2 - w_i \times h_i) [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] + \\
& \lambda_{\text{coord}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} (2 - w_i \times h_i) [(w_i - \hat{w}_i)^2 + (h_i - \hat{h}_i)^2] - \\
& \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} [\hat{C}_i \log(C_i) + (1 - \hat{C}_i) \log(1 - C_i)] - \\
& \lambda_{\text{noobj}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{noobj}} [\hat{C}_i \log(C_i) + (1 - \hat{C}_i) \log(1 - C_i)] - \\
& \sum_{i=0}^{S^2} 1_j^{\text{noobj}} \sum_{c \in \text{classes}} [\hat{p}_i(c) \log(p_i(c)) + (1 - \hat{p}_i(c)) \log(1 - p_i(c))]. \quad (2.2)
\end{aligned}$$

Таблиця 2.1 – Пояснення до формули 2.2

Параметр	Значення
λ_{coord}	Вага втрати координат
λ_{noobj}	Не враховує вагу втрати цілі
1_{ij}^{obj}	Чи є цілі в j-ій якірній коробці i-ї сітки
1_{ij}^{noobj}	Чи не має j-й опорний блок i-ї сітки мішеней
S	Кількість вхідних зображень у комірці розбиття сітки
B	Номер кожної комірки сітки, на яку проєкціюється гранична коробка
C_i	Достовірність
p	Категорія
$c = 0, 1, \dots, C$	Номер категорії
$i = 0, 1, \dots, S^2$	Номер одиниці сітки
$j = 0, 1, \dots, B$	Номер граничної області
x_i, y_i, w_i, h_i	Абсциса, ордината, ширина та висота центральної точки області прогнозування
$\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{w}_i, \hat{h}_i$	Абсциса, ордината, ширина та висота центральної точки реального поля

2.4 Модель, заснована на кольоровій сегментації та на основі простору кольорів HSV

Колірна схема HSV базується на трьох стандартних кольорах RGB – червоний, зелений та синій. Цей колірний простір був запропонований Т. Йонгом у 1802 році, і його вираз представлений у формулі 2.3:

$$f = aR + bG + cB, \quad 2.3$$

де R — червоний компонент,

G — зелений компонент,

B — синій компонент,

a, b, c — ваги кожного компонента відповідно,

f — синтезований колір.

У моделі колірного простору RGB кожен колір з'являється в спектральних компонентах основного кольору червоного, зеленого та синього.

Колірний простір HSV (або відомий як HSB) також називають гексагональною кольоровою моделлю тіла хребця [52], а тривимірна модель колірного простору HSV показана на рисунку 2.9. Просторова модель HSV — це перевернутий конус, де V — центральна вісь перевернутого конуса в діапазоні від 0 до 1 [53].

Вершина конуса представлена яскравістю 1; колір H виражається під певним кутом навколо осі V, у якому червоний, зелений і синій розділені на 120 градусів відповідно, а додаткові кольори становлять 180 градусів відповідно. Радіус конуса дорівнює 1, що вказує на діапазон насичення S від 0 до 1. Вершина конуса чорна (V=0, H і S не визначено). Центр вершини білий (V=1, S=0, H не визначено), а яскравість поступово зменшується від вершини до початку координат.

Моделі кольору HSV (відтінок, насиченість, значення) і HSB (відтінок, насиченість, яскравість) є досить схожими і використовуються для представлення кольору у формі числових значень, які відображають його характеристики.

Основна відмінність між ними полягає у термінах, які вони використовують для третьої компоненти кольору [54].

У моделі кольору HSV третя компонента, яку іноді називають також "яскравість", представлена значенням (Value). Значення відображає ступінь яскравості або світлочутливості кольору. Це означає, що велике значення вказує на яскравий або світлий колір, а низьке значення - на темний або приглушений.

У моделі кольору HSB третя компонента називається яскравість (Brightness). Ця компонента також визначає ступінь світлочутливості кольору, але термін "яскравість" часто сприймається як більш адекватний для позначення цієї характеристики.

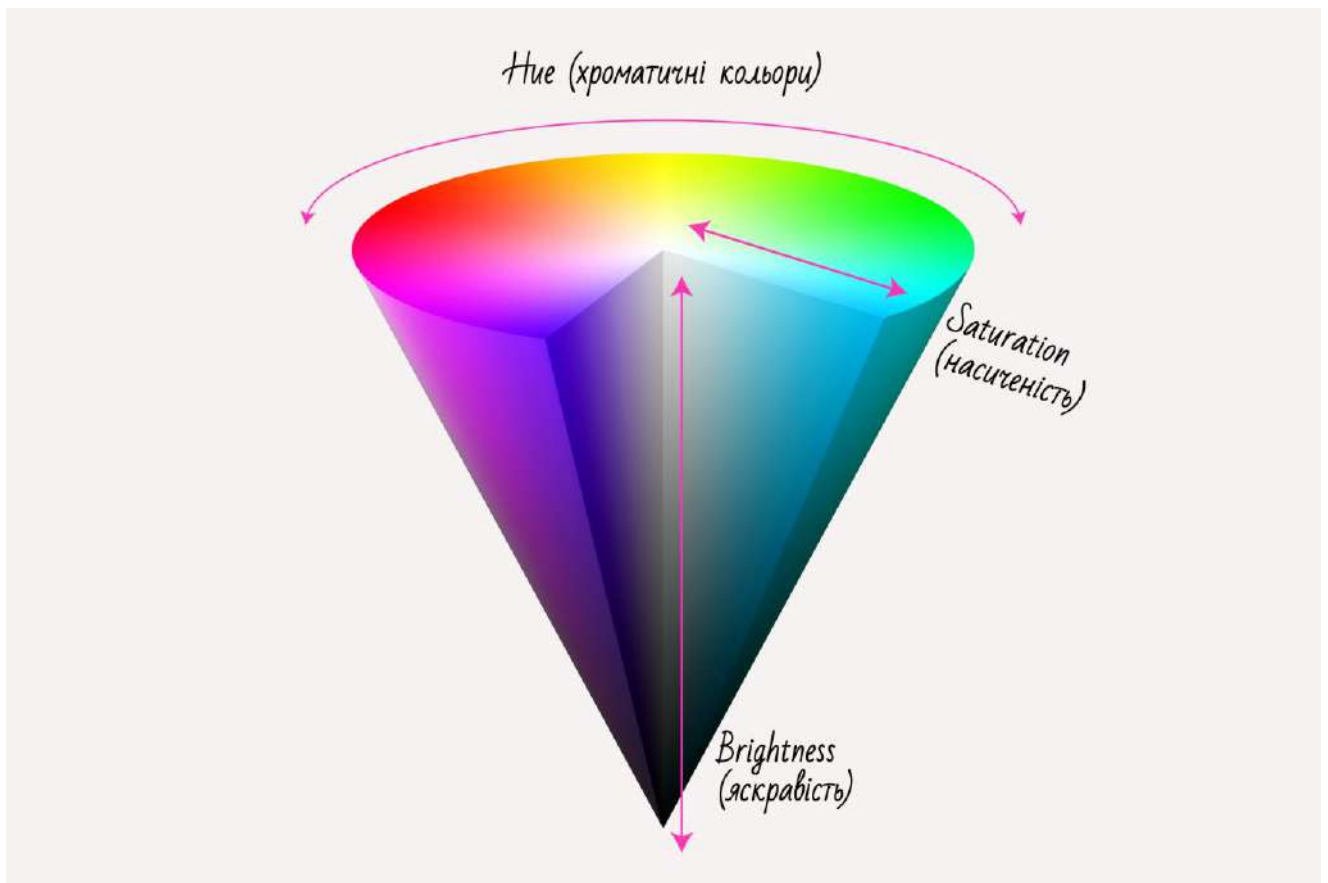


Рисунок 2.9 – Тривимірна модель колірному простору HSB [56]

Щодо використання компонентів кольору (відтінок і насиченість), вони однакові для обох моделей і використовуються для визначення колірної гамми та інтенсивності кольору [55].

Хоча термінологія відрізняється між моделями HSV і HSB, вони в більшості випадків розглядаються як еквівалентні, оскільки вони надають зручний спосіб представлення кольору у формі числових значень, що використовуються в обробці зображень і комп'ютерній графіці.

Колірний простір YCbCr широко використовується в галузі машинного зору та передачі зображення [56]. Спосіб перетворення кольорів YCbCr в RGB представлений на формулі 2.3:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.564 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}, \quad 2.3$$

де Y означає інформацію про яскравість кольору, Cb стосується різниці між кольором і яскравістю синього, а Cr означає різницю між кольором і червоний колір. Якщо вхідним сигналом є зображення RGB, Cb — різниця між синім компонентом і яскравістю, Cr — різниця між червоним компонентом і яскравістю [57].

Для колірного простору HSV необхідно статистично проаналізувати значення H, S і V трьох різних світлофорів, щоб визначити порогове значення. Зі статистикою 340 світлофорів визначено діапазон кольорових порогів трьох світлових сигналів світлофорів, як показано в таблиці 2.2 .

Таблиця 2.2 –Порогові значення для сигналів світлофора HSV простору

Колір	Відтінок (H)	Насиченість (S)	Значення (V)
Червоний	[0, 16]∪[349, 359]	[0,6, 1]	[0,6, 1]
Жовтий	[19, 49]	[0,6, 1]	[0,6, 1]
Зелений	[119, 189]	[0,6, 1]	[0,5, 1]

Також, для виявлення кольорів світлофора використовуються порогові значення, які визначаються на основі колірної матриці RGB та вибіркової

статистики. Таблиця 2.3 наводить порогові значення для кольорів світлофора відповідно до компонентів червоного, зеленого та синього (R, G, B) каналів [58].

Таблиця 2.3 – Порогові значення для кольорів світлофора RGB палітри

Колір	R компонент	G компонент	B компонент
Червоний	[110, 250]	[0, 90]	[10, 70]
Жовтий	[110, 250]	[110, 250]	[0, 90]
Зелений	[0, 90]	[80, 250]	[0, 80]

Згідно з формулою перетворення простору кольорів YCbCr і простору кольорів RGB, пороговий діапазон простору кольорів YCbCr визначається, як показано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Таблиця порогів YCbCr для кольорів світлофора

Колір	Компонент Y	Компонент Cb	Компонент Cr
Червоний	[45,25, 137,87]	[95,54, 116,11]	[175,58, 199,66]
Жовтий	[106,31, 230,07]	[57,76, 79,71]	[135,81, 139,36]
Зелений	[61,12, 187,97]	[77,05, 104,72]	[69,83, 98,56]

В експерименті пропорція світлового кольору в області світлофора є фіксованою, тому потрібно лише підрахувати пікселі кольору світла в межах порогового діапазону, і, нарешті, визначити стан світла відповідно до кількості кольорових пікселів [59].

Для експериментів з розпізнавання світлофорів було відібрано 200 зображень сцени руху, включаючи 90 червоних світлофорів, 80 зелених вогнів, 30 жовтих вогнів і остаточні результати виявлення світлофора, як показано в таблиці 2.5.

Базуючись на вищенаведених трьох типах загальноживаних параметрів перетворення кольорного простору та аналізі рівнянь, буде використано ці три типи

колірного простору для трафіку в сцені кольору, порівняння в трьох колірних просторах під ефектом розпізнавання, щоб визначити найкращий колірний простір.

Таблиця 2.5 – Швидкість розпізнавання світлофора

Тип сигналу	RGB	HSV	YCbCr
Червоне світло	81,11%	96,67%	78,89%
Жовте світло	73,75%	95,00%	78,75%
Зелене світло	70,00%	88,67%	73,33%

Згідно з відповідними знаннями про моделі колірного простору, кожен колір у колірному просторі має унікальну характеристику, тому в цій моделі використовується метод сегментації порогу кольору для визначення стану світлофора [60].

Метод порогової сегментації полягає у встановленні порогового значення в колірному просторі та порівнянні з фактичним значенням компонента пікселя зображення. Таким чином можна ідентифікувати світлофори, які перетинають поріг.

Порівняння моделі YOLOv4 та моделі кольорової сегментації для розпізнавання світлофорів

Переваги моделі YOLOv4:

1. Висока точність розпізнавання об'єктів, включаючи світлофори;
2. Здатність працювати з різними типами світлофорів і умовами освітлення;
3. Можливість виявлення та класифікації декількох об'єктів на зображенні одночасно;
4. Підтримка реального часу з відповідними обчислювальними можливостями [61-62].

Недоліки моделі:

1. Висока обчислювальна складність, особливо при обробці великого потоку даних у реальному часі;

2. Вимагає великого обсягу навчальних даних для досягнення високої точності;
3. Потребує потужного обладнання для ефективної роботи [63].

Переваги моделі кольорової сегментації:

1. Низька обчислювальна складність, що дозволяє працювати на обмежених ресурсах;
2. Ефективність у роботі з незмінними умовами освітлення та фону;
3. Здатність точно визначати кольори на зображенні.

Недоліки:

1. Менша точність порівняно з YOLOv4, особливо у складних умовах;
2. Обмежена здатність розпізнавання об'єктів на зображенні;
3. Потребує додаткових методів для розпізнавання стану світлофора [64].

На основі проведеного порівняльного аналізу методів розпізнавання світлофорів на платформі Raspberry Pi 3B+, можна зробити наступні висновки

Обидва методи мають свої переваги та недоліки. YOLOv4 забезпечує високу точність розпізнавання, але вимагає значних обчислювальних ресурсів. Модель кольорової сегментації є менш вимогливою до обчислювальних ресурсів, але може бути менш точною, особливо в умовах зміни освітлення.

Використання моделі кольорової сегментації для пошуку світлофора та подальше застосування YOLOv4 для розпізнавання кольору може покращити точність визначення стану світлофора при мінімальному навантаженні на систему. Такий підхід дозволить забезпечити ефективність та точність розпізнавання світлофорів на різних платформах з обмеженими обчислювальними ресурсами.

Після докладного аналізу та опису методів розпізнавання світлофорів, де кожен метод має свої особливості та переваги, необхідно провести порівняльний аналіз для визначення їхньої ефективності та придатності в реальних умовах використання. Для цього було розроблено таблицю порівняння, яка включає кілька ключових параметрів для кожного методу. Цей аналіз має науково-дослідницьку спрямованість та базується на результатах емпіричних досліджень та тестів розпізнавання світлофорів [65].

Аналіз цих параметрів допоможе визначити найбільш ефективний метод для розпізнавання світлофорів, що відповідає вимогам швидкості, точності та ефективності у різних умовах експлуатації.

Таблиця включає такі параметри, як точність розпізнавання, швидкість роботи системи, витрати обчислювальних ресурсів, а також стійкість до змінних умов освітлення та фону. Ці параметри важливі для оцінки загальної продуктивності системи та визначення її придатності для практичного застосування [66].

Таблиця 2.6 – Результати попереднього тестування методів на мікрокомп'ютері Raspberry PI 3B+

Параметр	YOLOv4	Модель кольорової сегментації
Точність розпізнавання	Висока	Помірна
Швидкість розпізнавання (кадрів в секунду)	Низька	Помірна
Споживана пам'ять	Висока	Низька
Адаптація до змінних умов освітлення та фону	Помірна	Висока
Складність реалізації	Висока	Помірна
Ресурсозатратність	Висока	Помірна

Незважаючи на високу точність та здатність працювати в реальному часі, модель YOLOv4 вимагає значних обчислювальних ресурсів, що може призвести до перевантаження системи, особливо у випадку обробки великого потоку даних. Відтак, навіть з урахуванням його переваг, при розгляді вбудованих систем, де обмежені ресурси, забезпечення швидкодії і низької витрати енергії є ключовими

факторами, віддається перевага менш вимогливим до обчислювальних ресурсів моделям [67].

Модель кольорової сегментації, хоч і має меншу точність порівняно з YOLOv4, проте вона ефективно працює на обмежених обчислювальних ресурсах, що дозволяє зберігати швидкодію пристрою та зменшує витрати енергії. Важливо також зазначити, при виборі моделі для системи розпізнавання світлофорів важливо брати до уваги не лише її точність, але й здатність працювати в умовах обмежених обчислювальних ресурсів з мінімальним впливом на швидкодію та енергоспоживання пристрою [68].

2.5 Висновки

У розділі 2 було проведено огляд та порівняльний аналіз потенційних апаратних платформ для реалізації системи розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху. Було виявлено, що Raspberry Pi 3 є оптимальним вибором для даної системи, забезпечуючи потрібну потужність обчислень, стабільну роботу та гнучкість налаштування під конкретні вимоги проекту.

Аналіз переваг Raspberry Pi 3, таких як потужний процесор, підтримка бездротового зв'язку, можливості програмування та різноманітність зовнішніх пристроїв, підтвердив його відмінність як основу для розробки системи розпізнавання світлових сигналів. Такий вибір гарантує ефективну та надійну роботу системи з можливістю подальшого розширення та адаптації до конкретних потреб проекту.

Тому використання Raspberry Pi 3 у системі розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху є обґрунтованим та перспективним рішенням [69], яке забезпечить ефективне функціонування системи та забезпечить безпеку учасників дорожнього руху.

Також цьому розділі було проведено порівняльний аналіз методів YOLOv4 та моделі кольорової сегментації для розпізнавання світлофорів з урахуванням їхніх переваг і недоліків.

Під час вибору моделі було враховано такі фактори, як потужність обчислювальних ресурсів, вимоги до швидкості обробки даних у реальному часі, а також точність та стійкість моделі до різних умов дорожнього середовища. Врахування цих параметрів допоможе вибрати модель, яка найкращим чином відповідає потребам конкретної системи та забезпечить її ефективну та надійну роботу.

У випадку системи розпізнавання світлофорів, яка працює на обмежених обчислювальних ресурсах, важливим є оптимізація та вибір ефективного методу розпізнавання. Розглянуті методи, такі як YOLOv4 та модель кольорової сегментації, мають свої переваги та недоліки. Вибір оптимального методу повинен базуватися на аналізі їхньої ефективності та придатності у різних умовах експлуатації.

Модель YOLOv4 [70] відзначається високою точністю розпізнавання об'єктів, здатністю працювати з різними типами світлофорів і умовами освітлення, а також підтримкою реального часу з відповідними обчислювальними можливостями. Однак його використання вимагає значних обчислювальних ресурсів та великого обсягу навчальних даних для досягнення високої точності.

Модель кольорової сегментації відрізняється низькою обчислювальною складністю, ефективністю у роботі з незмінними умовами освітлення та здатністю точно визначати кольори на зображенні. Однак вона має меншу точність порівняно з YOLOv4, особливо у складних умовах, і обмежену здатність розпізнавання об'єктів на зображенні.

Застосування моделі кольорової сегментації для пошуку світлофора та подальше застосування YOLOv4 для розпізнавання кольору може покращити точність визначення стану світлофора при додатковому мінімальному навантаженні на систему.

3 ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ СВІТЛОФОРІВ

3.1 Апаратне забезпечення системи

Система розпізнавання світлофорів на базі Raspberry Pi побудовано на базі одноплатного комп'ютера (SBC – Single Board Computer) Raspberry Pi 3B+. Встановлений в нього 4-х ядерний процесор ARM Cortex-A53 із тактовою частотою 1,4 ГГц забезпечує достатню потужність для обробки відеоданих та виконання алгоритмів розпізнавання об'єктів [71].

Для збору відеоданих використовується камера, яка може бути підключена безпосередньо до гнізда камери на Raspberry Pi. Ця камера, яка зазвичай є модулем камери для Raspberry Pi, забезпечує високу якість зображення та дозволяє отримувати відеопотік з дорожнього середовища для подальшого аналізу.

Камера, розроблена спеціально для використання з Raspberry Pi, є ключовим компонентом для захоплення відеоданих. Вона підключається до порту камери плати Raspberry Pi і вона забезпечує високу якість зображення та роздільну здатність. Це дозволяє системі отримувати відеопотоки з дорожнього середовища для подальшої обробки та аналізу.

Внутрішня будова підсистеми розпізнавання світлофора відіграє ключову роль у функціонуванні системи контролю дорожнього руху. Ця підсистема складається з комплексу елементів, які спільно працюють для збору [72], обробки та відображення інформації про стан світлофорів на дорогах.

Основу цієї системи становлять камера Raspberry Pi V2.1 та мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3B+, що взаємодіють з LCD дисплеєм та сенсорним екраном. Камера Raspberry Pi V2.1 відповідає за збір відеоданих з дорожнього середовища, забезпечуючи високу якість та чіткість отриманих зображень. Її використання дозволяє забезпечити надійний потік вхідних даних для подальшого аналізу та обробки. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3B+ виконує функції обробки та аналізу отриманих відеоданих, використовуючи алгоритми розпізнавання світлофорів.

Його потужність і можливості забезпечують ефективну роботу системи навіть у реальному часі.

LCD дисплей виступає як засіб візуалізації результатів роботи системи, надаючи користувачам зручний та доступний інтерфейс для відображення інформації про стан світлофорів. Сенсорний екран доповнює цю можливість, роблячи взаємодію з системою більш зручною та інтуїтивно зрозумілою для користувачів. Завдяки такій внутрішній будові підсистеми, система розпізнавання світлофорів забезпечує надійний та ефективний контроль дорожнього руху, допомагаючи підвищити безпеку на дорозі [73].

На рисунку 3.1 зображено діаграму розгортання побудови системи

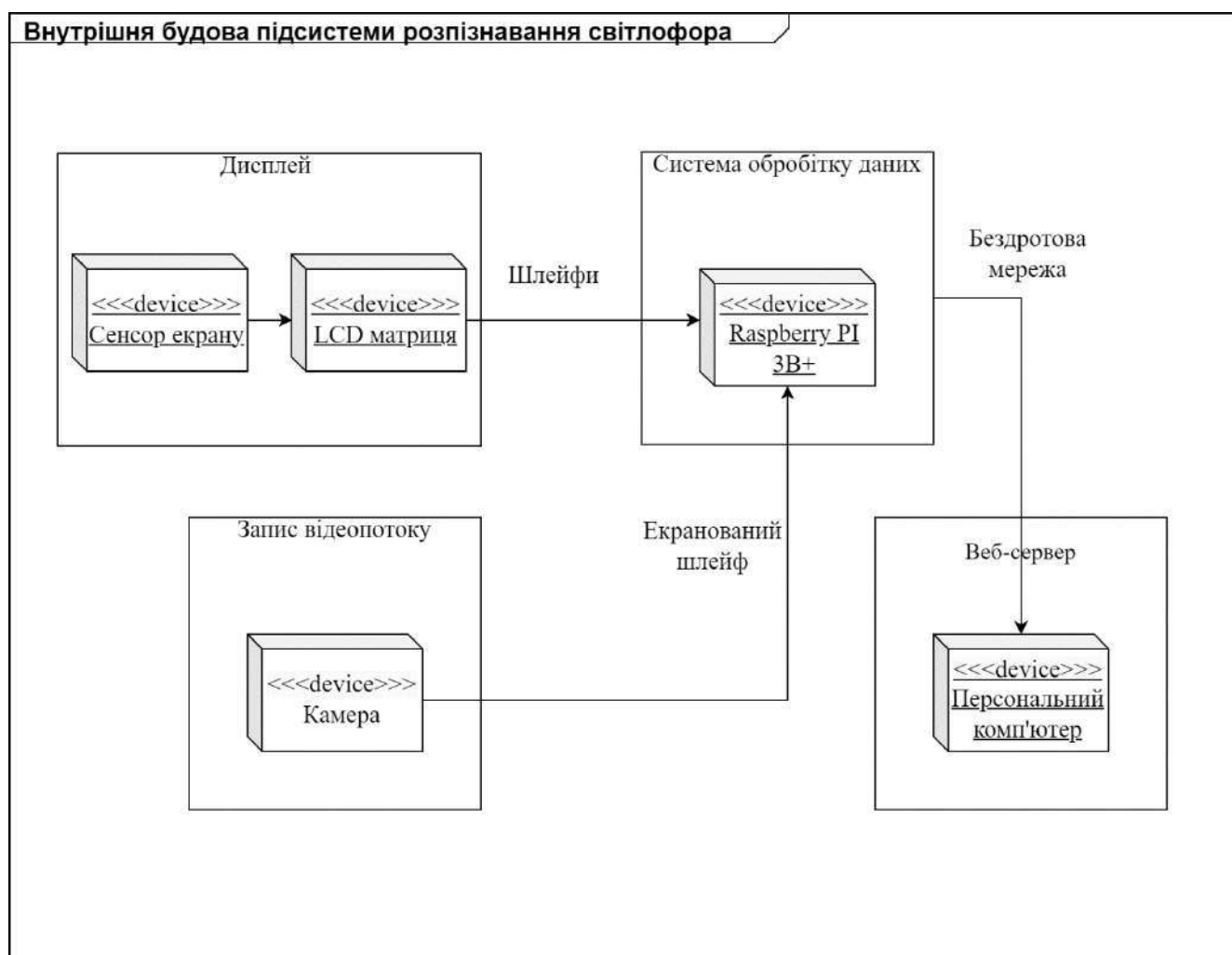


Рисунок 3.1 – Діаграма розгортання внутрішньої будови підсистеми

Для візуалізації результатів розпізнавання та взаємодії з користувачем може бути використаний LCD дисплей, підключений до Raspberry Pi. Він використовується для відображення інформації про стан світлофора та інших візуальних даних, корисних для водія автомобіля та пасажирів, а також покращує зручність використання системи та сприяє безпеці руху.

Одноплатний міні-комп'ютер Raspberry Pi використаний як основа системи для забезпечення обчислювальної потужності та забезпечення ефективної роботи системи виявлення світлофорів.

За допомогою цих компонентів створюється ефективна та надійна платформа для реалізації системи розпізнавання світлофорів, яка може працювати навіть на обмежених апаратних ресурсах і забезпечити необхідну функціональність для вирішення завдань контролю дорожнього руху. На рисунку 3.2 зображено підключення міні-комп'ютера Raspberry pi до дисплею.



Рисунок 3.2 – 7” дисплей, до якого примонтований міні-комп'ютер [74]

3.2 Розробка системи визначення сигналів світлофора

Розробка програмного забезпечення для визначення сигналів світлофора є важливою проблемою в області комп'ютерного зору та безпеки на дорозі. У цьому розділі розглянуто процес створення програмного забезпечення, яке може автоматично визначати світловий сигнал світлофора на основі зображення або відеопотоку з відеокамери.

Для досягнення цієї мети використовуються різні методи обробки зображень і комп'ютерного зору для виявлення червоних, жовтих і синіх сигналів світлофора.

Перед початком розробки програми було проведено детальний аналіз системних вимог, щоб визначити основні функціональні та технічні вимоги до програмного забезпечення [75].

На основі цього аналізу були сформульовані завдання для розробки програм, у тому числі визначення методів розпізнавання сигналів, методів обробки зображень, інтерфейсів взаємодії з іншими компонентами системи.

Апаратні компоненти системи розпізнавання світлофора є важливими факторами, які визначають її ефективність і точність.

Під час перших запусків системи ми виявили, що використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 3B+ стало зрозуміло, розробка програми на менш ресурсозатратному методі є розумним вибором. Але при певних моментах роботи системи виникають проблеми. Однією з них є обмеженість ресурсів апаратної платформи, особливо обчислювальної потужності та доступної пам'яті.

Ці обмеження впливають на функціональність програми та швидкість виконання. Одним із завдань є оптимізація програмного забезпечення для ефективної роботи на обмежених обчислювальних ресурсах Raspberry Pi [76].

Це означає, що програми повинні бути написані таким чином, щоб вони споживали мінімум пам'яті та обчислювальних ресурсів і оптимально працювали з обмеженою потужністю процесора.



Рисунок 3.3 – Розпізнавання світлофора за допомогою методу сегментації

Однак, ці виклики також відкривають двері для подальшої розробки та вдосконалення системи. Наприклад, можливість оптимізації програмного забезпечення для більш ефективного використання апаратних ресурсів Raspberry Pi. Також, подальша розробка може включати дослідження можливостей використання більш потужних апаратних платформ або навіть спеціалізованих пристроїв для задач розпізнавання образів [77].

3.3 Застосування бібліотеки OpenCV

У рамках подальшої розробки системи використання бібліотеки OpenCV виявляється важливим кроком для підвищення ефективності та точності роботи програми. OpenCV забезпечує широкі можливості для обробки зображень та відео, що дозволяє реалізувати різноманітні методи розпізнавання образів та компонентів світлофора.

Інтеграція OpenCV дозволить використовувати різноманітні методи фільтрації, виокремлення та аналізу кольорів, а також впроваджувати методи машинного навчання для покращення точності розпізнавання. Наприклад, можна використовувати методи класифікації для точного розпізнавання кольорів світлофорів та виявлення їх стану. Приклад розпізнавання сигналу світлофора показано на рисунку 3.3, а на рисунку 3.4 показано пошук зеленої ділянки на фото [78].

Використання OpenCV дозволить легко і швидко інтегрувати програмне забезпечення з різноманітними типами камер та сенсорів, що розширить можливості системи та дозволить більш гнучко вибирати апаратне забезпечення для конкретних вимог проекту.

Тому, подальша розробка системи використовує OpenCV як ключовий інструмент для досягнення високої ефективності та точності розпізнавання сигналів світлофорів [79], а також для забезпечення гнучкості та розширюваності системи в майбутньому.

Конвертація в простір кольорів HSV: Початкове зображення світлофора перетворюється з простору кольорів BGR (який використовується OpenCV) до простору кольорів HSV. Це важливо для подальшої обробки, оскільки простір кольорів HSV (відтінок, насиченість, значення) дозволяє більш ефективно виділяти окремі кольори [80].

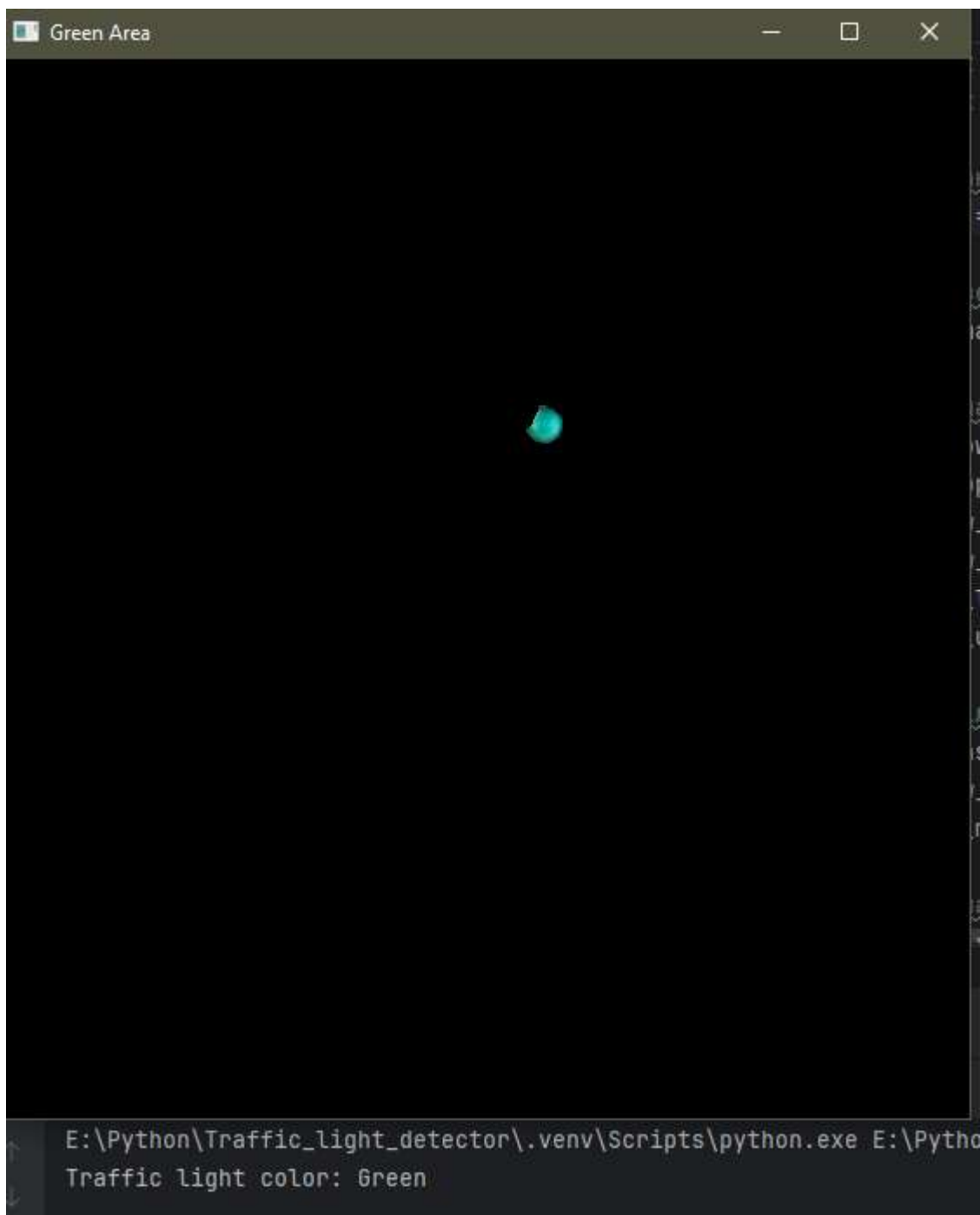


Рисунок 3.4 – Пошук зеленої ділянки на зображенні

Визначення діапазонів кольорів: Червоний, жовтий та зелений кольори світлофора мають свої унікальні діапазони значень в просторі кольорів HSV. Наприклад, червоний має низький відтінок, жовтий має середній відтінок, а зелений має високий відтінок. Таким чином, визначення діапазонів кольорів дозволяє точно виділити області зображення, які відповідають кожному з кольорів світлофора.

Виділення областей кольорів: Після визначення діапазонів кольорів застосовуються методи порогової обрізки для кожного кольору. Це дозволяє виділити області зображення, де пікселі мають кольори, що потрапляють в визначені діапазони. Таким чином, ми отримуємо три бінарні зображення, які показують, де знаходяться червоні, жовті та зелені області.

Підрахунок кількості пікселів: Для кожної з виділених областей підраховується кількість ненульових пікселів, тобто тих, які відповідають кольоровому каналу. Це допомагає визначити, яка частина зображення є найбільш представлена і може бути визнана як кольоровий сигнал світлофора.

Визначення кольору світлофора: На основі кількості пікселів у кожній з областей визначається, який кольоровий сигнал має переважання. Таким чином, якщо червоний піксель більше, ніж жовтий і зелений, то кольором світлофора буде червоний, і так далі.

Цей метод в основному використовує кольорову інформацію зображення для визначення стану світлофора. Це дозволяє відокремити кольорові сигнали у різних умовах освітлення та об'єктивних спотвореннях, що робить його ефективним та обґрунтованим вибором для застосування в системах детекції світлофорів.

Принцип роботи цієї системи полягає у використанні аналізу зображень з відеокамер, розташованих на дорозі, для визначення поточного кольору світлофора на перехрестях.

В основі роботи системи лежить аналіз кольорових характеристик світлофора на зображеннях. Спочатку, зображення отримуються з відеокамери і обробляються для визначення кольору світлофора на них. Для цього застосовуються методи комп'ютерного зору та обробки зображень, такі як перетворення кольорових просторів та порогова фільтрація [81].

Після отримання зображення виконується перетворення в простір кольорів HSV для більш ефективного розпізнавання кольорів. Потім визначаються діапазони кольорів для червоного, жовтого та зеленого сигналів світлофора. Застосовуються методи порогової обрізки для виділення областей зображення, які відповідають кожному з кольорів світлофора.

Блок-схема роботи системи показана на рисунку 3.5

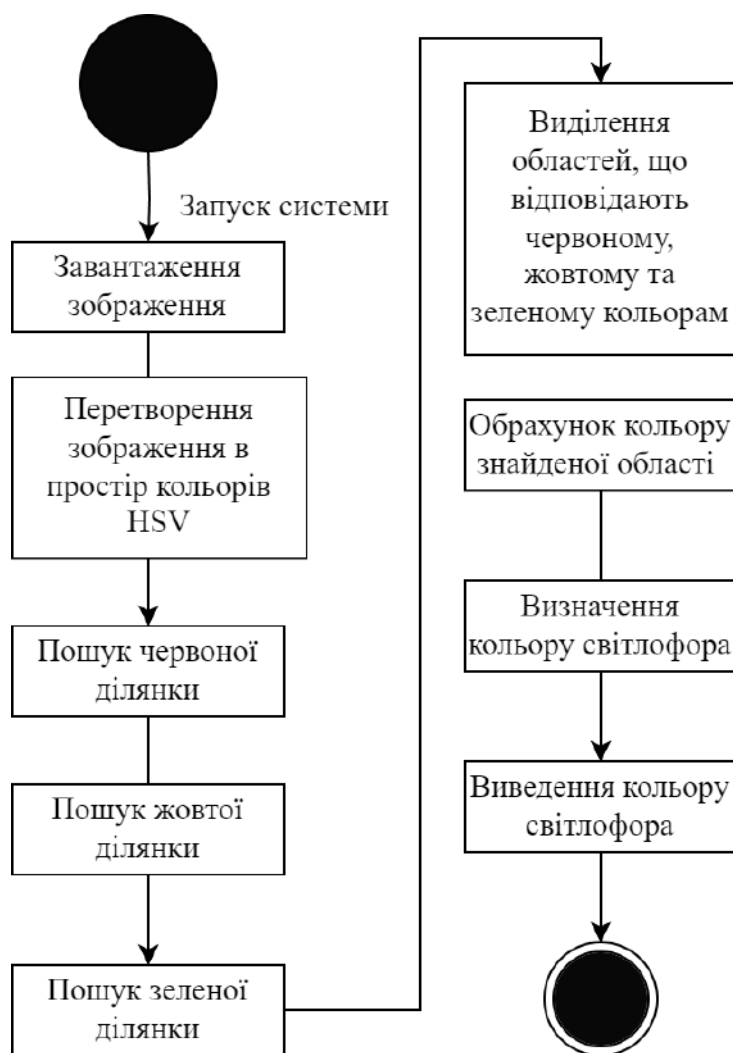


Рисунок 3.5 – Блок-схема роботи системи

Після отримання зображення виконується перетворення в простір кольорів HSV для більш ефективного розпізнавання кольорів.

Потім визначаються діапазони кольорів для червоного, жовтого та зеленого сигналів світлофора. Застосовуються методи порогової обрізки для виділення областей зображення, які відповідають кожному з кольорів світлофора.

Далі виконується підрахунок кількості пікселів у кожній області зображення, яка відповідає червоному, жовтому та зеленому кольорам. На основі цього визначається, який кольоровий сигнал переважає, і цей колір вважається кольором світлофора.

Діаграма класів підсистеми (рисунок 3.6) відображає основні компоненти системи розпізнавання сигналів світлофора та їх взаємозв'язки. Кожен клас відповідає за конкретну функціональність у процесі роботи системи, починаючи від зчитування вхідних даних з камери і закінчуючи відображенням результатів на екрані.

Ці компоненти співпрацюють разом, щоб забезпечити ефективно та точно розпізнавання сигналів світлофора та їх стану. Діаграма допомагає зрозуміти структуру системи та логіку взаємодії між її складовими частинами, сприяючи подальшому розвитку та вдосконаленню програмного забезпечення.

Вона включає в себе чотири основні компоненти, кожен з яких відповідає за визначену функціональність у системі розпізнавання сигналів світлофора.

1. `Camera_Detector` відповідає за зчитування вхідного відеопотоку з камери Raspberry Pi V2.1. Він забезпечує інтерфейс для отримання зображень з камери та передає ці зображення наступним компонентам для подальшого аналізу.

2. `Range_Array` обробляє зображення та накладає на нього порогові маски згідно визначених кольорів.

3. `Detect_Signal` використовує розроблені алгоритми обробки зображень, включаючи сегментацію кольорів та аналіз контуру, для визначення розташування сигналів світлофорів на вхідних зображеннях. Також, цей клас відповідає за аналіз зображення, виявлення сигналів світлофора та визначення їх стану (червоний, жовтий, зелений).

4. `View_Display`: Цей клас відповідає за відображення результатів розпізнавання на LCD дисплеї, підключеному до мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+. Він приймає результати, отримані від `Detect_Signal`, та відображає їх у зручному для користувача форматі на екрані.

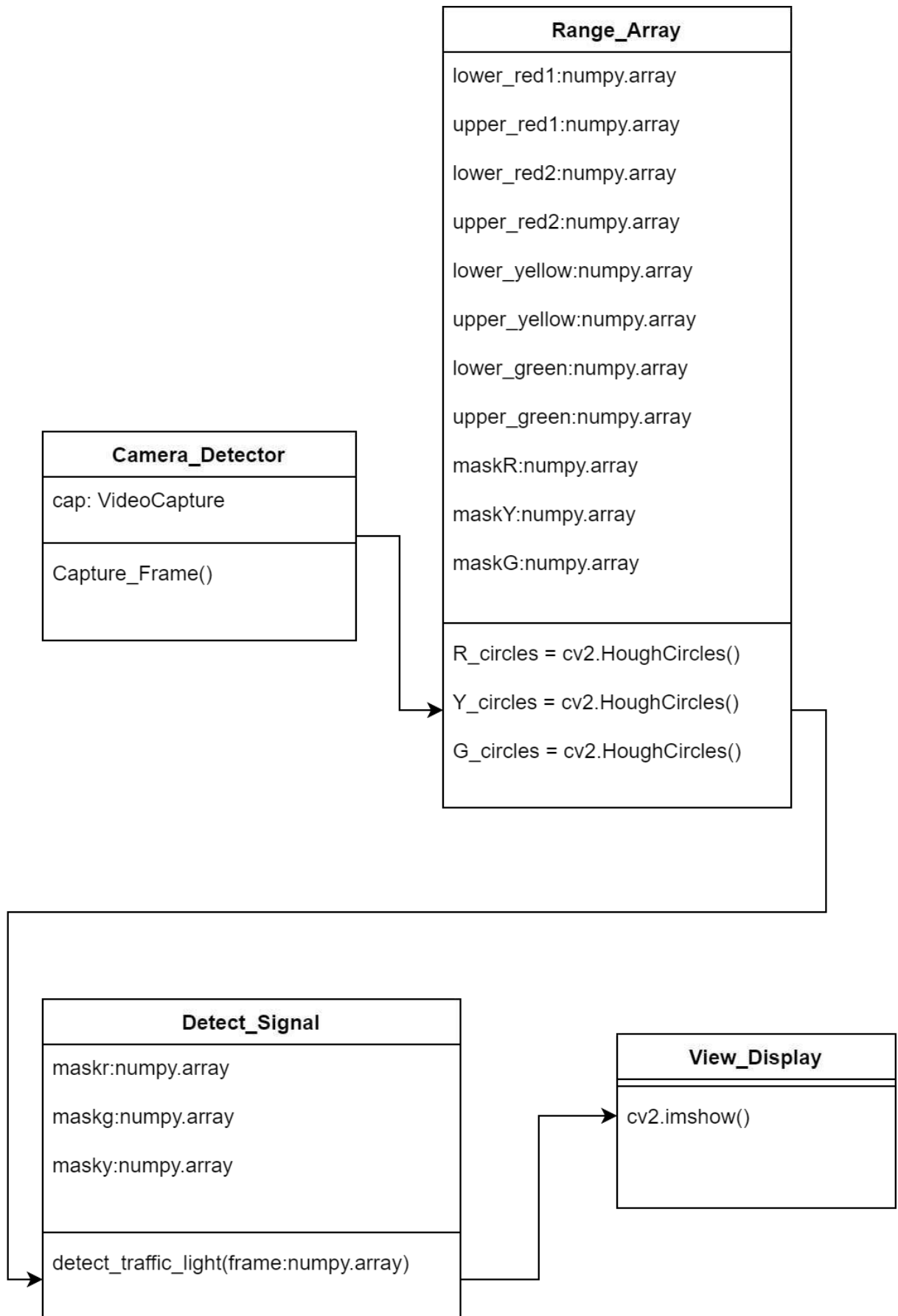


Рисунок 3.6 – Діаграма класів підсистеми

Система може бути модифікована для поліпшення точності та швидкодії розпізнавання кольору світлофора. Наприклад, можливість додавання алгоритмів машинного навчання для автоматичного підбору параметрів порогової фільтрації або для адаптації до змін у світлових умовах [81].

Також можливість інтеграції з системами передачі даних та керування транспортом для реагування на отриману інформацію щодо кольору світлофора та забезпечення безпечного руху транспорту.

3.4 Висновки

У розділі 3 описано апаратну складову системи розпізнавання світлофорів, було докладно розглянуто компоненти, які становлять основу цієї системи. Також було розглянуто відповідальність кожного елемента, починаючи від камери Raspberry Pi V2.1, яка забезпечує збір відеоданих з дорожнього середовища, і закінчуючи мікрокомп'ютером Raspberry Pi 3B+, який відповідає за обробку та аналіз цих даних. Використання відповідних апаратних засобів, таких як LCD дисплей і сенсорний екран, допомагає забезпечити зручну взаємодію з системою та візуалізацію результатів роботи.

Розробка системи розпізнавання світлофорів вимагає не лише правильного вибору апаратної складової, але й використання відповідних програмних рішень. У цьому контексті важливим етапом стало використання бібліотеки OpenCV, яка надає зручний і ефективний інструментарій для обробки зображень та відеоданих.

Основна ідея цього підходу полягає в використанні характерних кольорових діапазонів для ідентифікації світлофорів на зображенні. Після завантаження зображення система перетворює його в простір кольорів HSV, що дозволяє легше виділити потрібні кольорові діапазони. Далі відбувається пошук червоних, жовтих та зелених ділянок, їх виділення та обрахунок кольору. Остаточний результат виводиться на екран у вигляді відповідного сигналу світлофора.

У додаток до програмного забезпечення, розробленої моделі, важливу роль відіграє також апаратна база системи. Діаграма класів підсистеми відображає структуру системи та логіку взаємодії між її складовими частинами. Блок-схема роботи пристрою дозволяє краще зрозуміти послідовність операцій, що відбуваються під час роботи системи, від захоплення зображення до виведення результату на екран. Ця взаємодія між апаратурою та програмним забезпеченням робить систему ефективною та надійною в роботі, що є ключовим аспектом у сфері розпізнавання сигналів світлофора в умовах дорожнього середовища.

Застосування відповідної апаратної та програмної бази для розробки системи розпізнавання світлофорів є критичним аспектом, що впливає на її ефективність та надійність. Обговорені у цьому розділі технічні аспекти встановлюють основу для подальшої реалізації та вдосконалення системи, спрямованої на підвищення безпеки та ефективності дорожнього руху.

4.4 ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ СЕГМЕНТАЦІЇ КОЛЬОРІВ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ З ДЕТЕКЦІЄЮ СВІТЛОФОРІВ

4.1 Способи тестування системи визначення сигналів світлофора

Перед впровадженням системи в реальне середовище важливо провести попереднє тестування для оцінки її ефективності та надійності. Для цього можна використовувати різні підходи, зокрема тестування на основі зображень, відеоматеріалів та симуляцій.

Для першого етапу тестування системи розпізнавання світлофорів можна скласти набір зображень, які представляють різні сцени дорожнього руху з різними типами світлофорів та умовами освітлення. Ці зображення можуть включати в себе перехрестя з різним розміщенням та кількістю світлофорів, змінні погодні умови, різні кути огляду, а також різні стани світлофорів: червоний, жовтий, зелений або їх комбінації.

Під час тестування буде оцінюватися реакція системи на різні сценарії та умови, такі як зміна освітлення, наявність тіней або відблисків, а також інші фактори, що можуть вплинути на роботу алгоритмів розпізнавання. Набір зображень дозволить виявити можливі проблеми або недоліки у роботі системи, такі як невірне розпізнавання станів світлофора, помилкові виявлення об'єктів, або недостатню точність роботи в умовах обмеженого освітлення.

Після аналізу результатів тестування на основі зображень можуть бути внесені корективи до алгоритмів розпізнавання та параметрів системи для поліпшення її ефективності та надійності. Такий підхід дозволяє забезпечити перевірку системи в контрольованому середовищі перед переходом до більш складних тестів на основі відеоматеріалів або реальних дорожніх сцен.

Для другого етапу тестування системи розпізнавання світлофорів можна використовувати відеоматеріалів, які записані з веб-камер або відеокамер, встановлених на реальних дорогах або перехрестях. Це дозволить перевірити працездатність системи в реальному часі та оцінити її здатність адаптуватись до

змінних умов дорожнього середовища, таких як різка зміна освітлення, рух транспорту, відблиски або тіні.

Під час тестування з використанням відеопотоку можна спостерігати, як система справляється з реальними дорожніми ситуаціями, такими як велика кількість транспорту, зміни в умовах освітлення під час руху від сонця або штучних джерел світла, а також різні типи дорожніх покриттів. Це дозволить виявити можливі проблеми або недоліки у роботі системи в реальних умовах та внести необхідні корективи до алгоритмів розпізнавання.

Такий підхід до тестування дозволяє підтвердити працездатність системи та її здатність працювати в реальному дорожньому середовищі, що є ключовим для успішної реалізації системи контролю дорожнього руху.

Крім того, для випробування системи в різних умовах та сценаріях можна використовувати ігри-симулятори, які моделюють різноманітні дорожні ситуації. Вони надають можливість створювати реалістичні умови для тестування різних аспектів роботи системи, таких як реакція на рух транспорту, зміни в умовах освітлення та інші фактори, що можуть вплинути на роботу системи розпізнавання світлофорів.

Загальний аналіз результатів тестування на основі зображень, відеоматеріалів та симуляцій дозволить оцінити ефективність та надійність системи та виявити можливі проблеми або недоліки, які потребують подальшої оптимізації. Такий підхід дозволяє забезпечити високу якість роботи системи перед її впровадженням у реальне дорожнє середовище.

4.2 Перший етап тестування системи визначення сигналів світлофора на зображеннях

Перед початком реальних випробувань системи на вулицях та перехрестях, важливо провести тестування на зображеннях, що є першим кроком у валідації її працездатності та точності. Цей етап тестування має на меті оцінити реакцію системи на стандартні умови та сценарії, які можуть зустрічатися на дорогах.

В ході першого етапу тестування використовуються набори даних, що містять зображення різних типів світлофорів в різних умовах освітлення, погодних умовах та кутах огляду. Завдяки цьому можна визначити, як система реагує на різноманітність умов та чи може вона надійно визначати стан світлофорів у реальних умовах експлуатації. Також важливо відзначити, що цей етап дозволяє виявити можливі проблеми та недоліки системи ще до випробувань на вулицях, що сприяє попередньому виправленню та вдосконаленню алгоритмів розпізнавання.

Перший етап тестування є ключовим етапом у валідації системи та підготовці до подальших випробувань на реальних дорогах. Він дозволяє зрозуміти, наскільки ефективно система може функціонувати в умовах, контрольованих у лабораторних умовах, і виявити можливі проблеми, які потребують подальшої уваги та вдосконалення. Приклади детекції світлофорів, а також пошук ділянки кольору показано на рисунку 4.1.

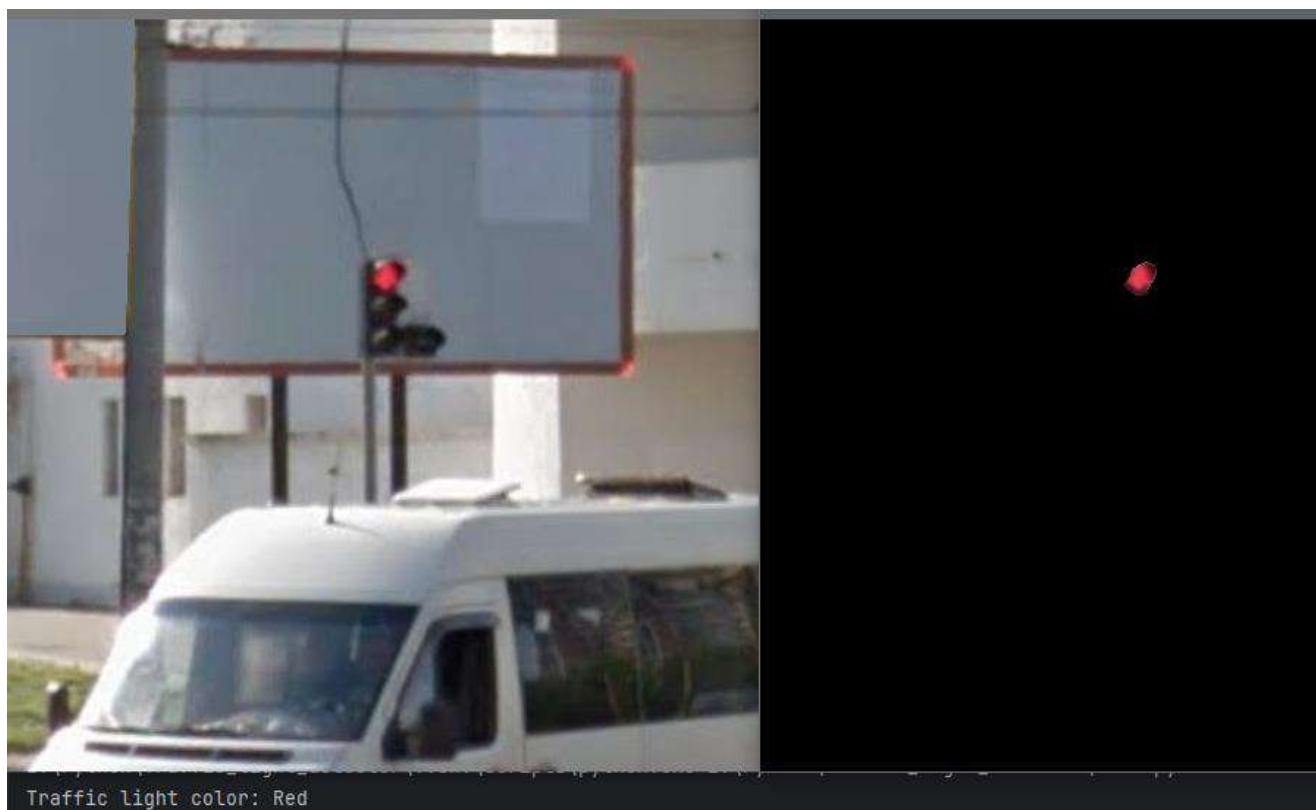


Рисунок 4.1 – Розпізнавання червоного сигналу світлофора

Однією з проблем розпізнавання світлофорів є те, що червоний та жовтий колір майже не відрізняються, або зелені світлодіодні вивіски, що мають схожий (а місцями ідентичний) образ, колір, або подобу, що стає складною задачею для систем детекції та розпізнавання за допомогою штучного зору. Однією з основних проблем є те, що червоний та жовтий колір можуть мати схожий відтінок або інтенсивність, особливо у певних умовах освітлення, погодних умовах але найчастіше при зношеному стані світлофорів. Приклад таких світлофорів зображено на рисунках 4.2.



Рисунок 4.2 – Світлофори з різними сигналами, але однаковими кольорами

Це може призводити до хибних розпізнавань, коли система помилково ідентифікує червоний колір як жовтий або навпаки, або ж коли ввімкнений червоний сигнал, але яскрава вивіска зеленого відтінку знаходиться за, поруч чи перед світлофором, що може призвести до заплутування як системи, так і водія. А також самі світлофори можуть бути освітлені різними джерелами світла або мати різну інтенсивність освітлення, що може впливати на сприйняття кольору системою комп'ютерного зору. На рисунку 4.3 зображено хибне розпізнавання системою червоного сигналу як жовтий

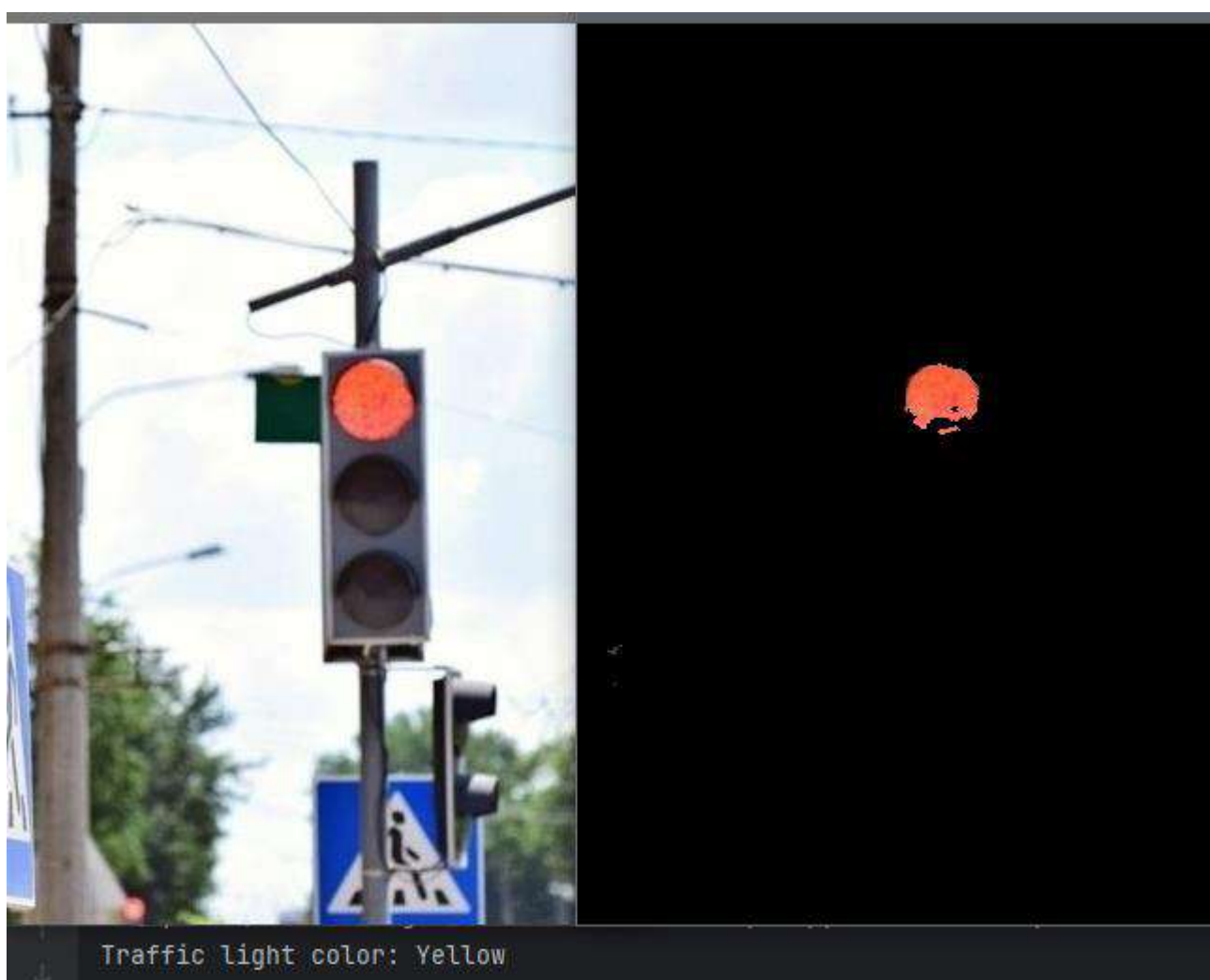


Рисунок 4.3 – Хибне розпізнавання сигналу світлофора

Хибне розпізнавання червоного сигналу як жовтий може виникати через різницю у відтінках та налаштуваннях кольорів між реальним світлофором та

зображенням. У деяких випадках, навіть невеликі відмінності в освітленні, відблиску або тіні можуть призвести до спотворення кольору на зображенні. Оскільки система використовується на мікрокомп'ютері Raspberry Pi, обробка зображень може бути обмеженою обчислювальними ресурсами, що ускладнює розв'язання цієї проблеми.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є удосконалення алгоритмів обробки зображень для розпізнавання кольорів, які були б менш чутливими до змін у освітленні та інших факторів. Також, можна розглянути можливість використання фільтрів або методів компенсації, які коригуватимуть кольорові спотворення під час обробки зображення. Розпізнавання системою сигналу, що дозволяє рух зображено на рисунку 4.4, а розпізнавання попереджувального сигналу зображено на рисунку 4.5.

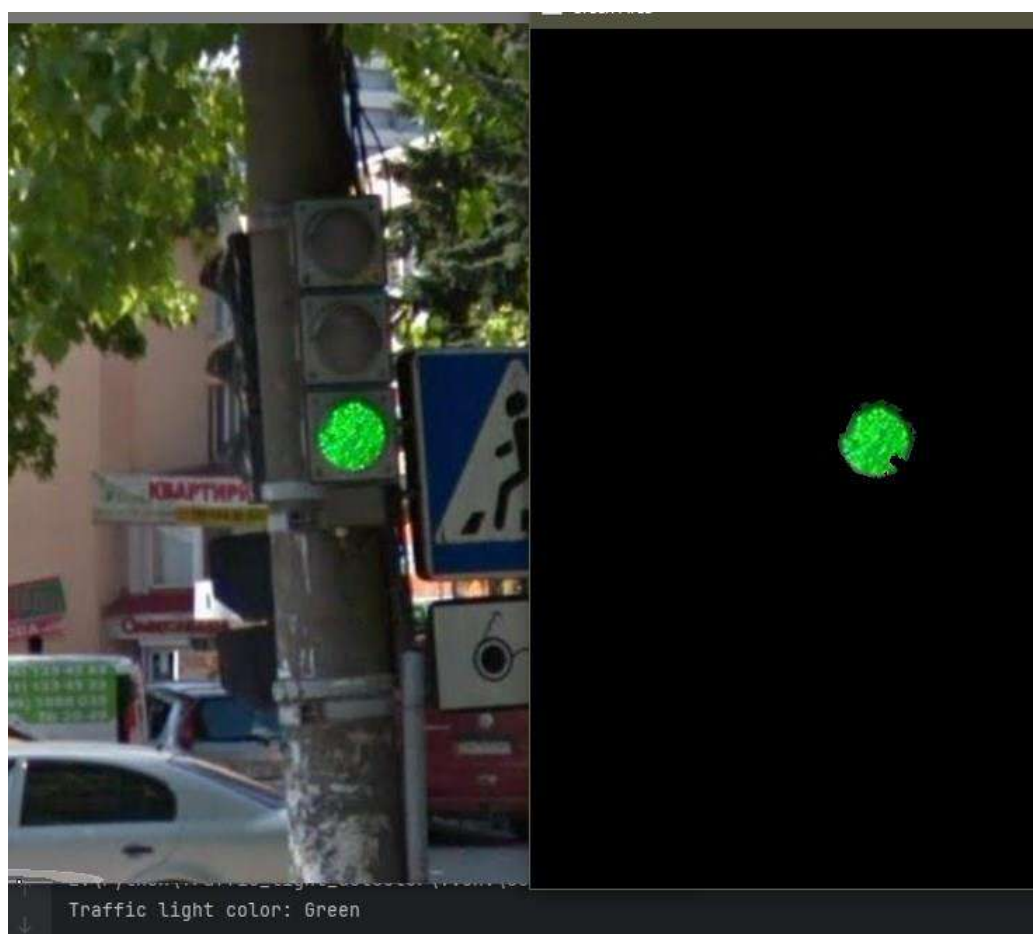


Рисунок 4.4 – Розпізнавання системою зеленого сигналу світлофора, що дозволяє рух

Тому слід врахувати, що розробка та впровадження нових методів обробки зображень на мікрокомп'ютері Raspberry Pi може вимагати додаткових обчислювальних ресурсів та часу на програмування та налаштування. Тому вирішення цієї проблеми потребує балансу між точністю розпізнавання та обчислювальною складністю алгоритмів, що використовуються.

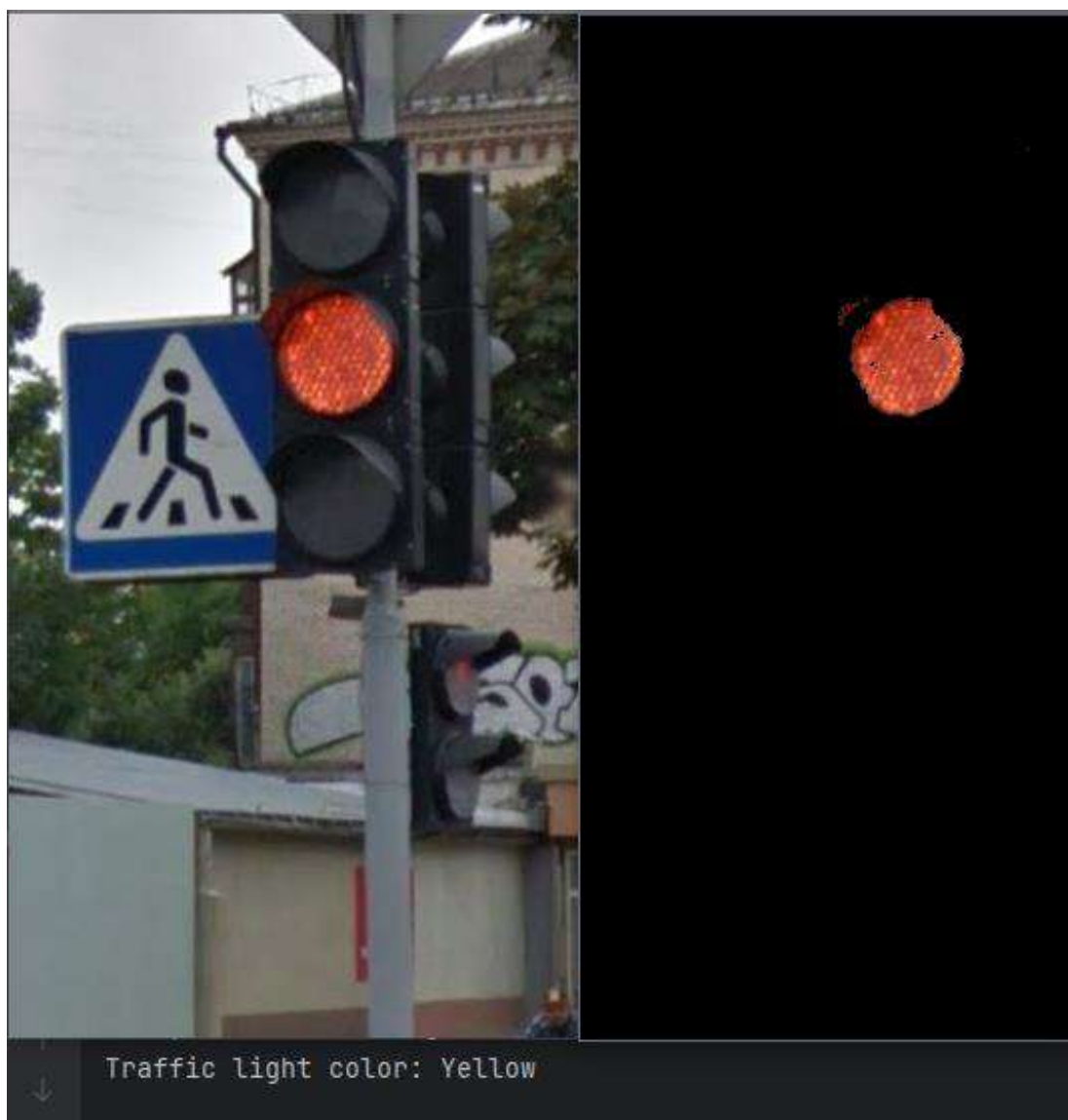


Рисунок 4.5 – Розпізнавання попереджувального сигналу

Крім того, тестування на основі зображень може бути витратним за часом і ресурсами. Зібрання великої кількості зображень для представлення різноманітних умов та сценаріїв може бути складним завданням, особливо якщо потрібно збільшити обсяг даних для навчання та тестування системи машинного навчання.

Крім того, обробка та аналіз цих зображень також може вимагати значних обчислювальних ресурсів та часу.

Тестування на основі зображень може бути обмеженим в тому сенсі, що воно не завжди дозволяє оцінити реальну ефективність системи в реальному часі. Одержані результати можуть не завжди адекватно відображати реальну продуктивність системи під час реального використання в різних умовах.

Таке тестування є корисним і ефективним методом для оцінки функціональності системи розпізнавання світлофорів, але слід враховувати його обмеження у контексті загальної стратегії тестування. Тому, задля наближення умов до реальних, було застосовано метод тестування на відеоматеріалах з інтернету.

Відеоматеріали можуть забезпечити кращу картину дорожнього середовища, включаючи рух транспорту та пішоходів, різноманітність умов освітлення, а також різні ситуації на дорозі. Це покращить визначення ефективності та надійності системи в реальних умовах експлуатації.

4.3 Другий етап тестування системи визначення сигналів світлофора на даних, заснованих на відеоматеріалах

Для більш поглибленого тестування системи розпізнавання світлофорів можна використовувати відеофайли, які записані з вебкамер або відеокамер, встановлених на реальних дорогах або перехрестях. Це дозволить перевірити працездатність системи в реальному часі та оцінити її здатність адаптуватись до змінних умов дорожнього середовища, таких як різка зміна освітлення, рух транспорту, відблиски або тіні.

Під час тестування з використанням відеопотоку можна спостерігати, як система впорається з реальними дорожніми ситуаціями, такими як велика кількість транспорту, зміни в умовах освітлення під час руху від сонця або штучних джерел світла, а також різні типи дорожніх покриттів. Це дозволить виявити можливі

проблеми або недоліки у роботі системи в реальних умовах та внести необхідні корективи до алгоритмів розпізнавання.

Такий підхід до тестування дозволяє підтвердити працездатність системи та її здатність працювати в реальному дорожньому середовищі, що є ключовим для реалізації системи попередження аварій на дорозі.



Рисунок 4.6 – Розпізнавання сигналів світлофора з відеопотоку [82]

На рисунку 4.6 продемонстровано момент розпізнавання світлофора на відеофайлі, записаного в Лондоні, Англія [82]. Також на ньому зображено два світлофори, які світять червоним кольором, а зверху в текстовому вигляді розташований тестовий вивід даних для оцінки роботи системи

Використання відеоматеріалів для тестування систем розпізнавання світлофорів є важливою складовою процесу розробки та валідації алгоритмів.

Відеоматеріали забезпечують можливість аналізувати роботу системи в реальних умовах дорожнього середовища, де присутні різноманітні фактори, такі як зміна освітлення, погодні умови, рух транспорту та інші. Це дозволяє виявити потенційні проблеми та вдосконалити алгоритми для кращого функціонування системи в реальних умовах експлуатації. На рисунку 4.7 показано розпізнавання червоного та жовтого сигналу світлофора на ділянці дороги.



Рисунок 4.7 – Розпізнавання червоного та жовтого сигналу світлофора

Однією з переваг використання відеоматеріалів є можливість аналізувати роботу системи в різних сценаріях та умовах, що може бути складно або навіть неможливо забезпечити в реальному часі. Наприклад, можна використовувати відеоролики з різними часами доби, погодними умовами або типами світлофорів для оцінки роботи системи в різних ситуаціях.

Крім того, використання відеоматеріалів дозволяє збирати великий обсяг даних для тестування та навчання моделей розпізнавання. З цими даними можна проводити ретельний аналіз результатів роботи системи та вдосконалювати її алгоритми шляхом навчання з урахуванням реальних умов експлуатації.

Проте, використання відеоматеріалів також має свої обмеження та недоліки. Один з них - складність у відтворенні реального дорожнього середовища з усіма його варіантами та нюансами. Важливо враховувати, що відеоматеріали можуть не відображати всі можливі сценарії, які можуть виникнути на дорозі. Також може виникнути проблема з недостатньою якістю або роздільною здатністю записів, що може ускладнити аналіз результатів. На рисунку 4.8 зображено фрагмент розпізнавання зеленого кольору світлофора на відеопотоці.



Рисунок 4.8 – Детекція зеленого кольору світлофора

Усі ці фактори потребують уважного аналізу та врахування при використанні відеоматеріалів для тестування систем розпізнавання світлофорів. Попри свої обмеження, вони залишаються важливим інструментом для оцінки ефективності та надійності таких систем.

4.4 Виявлення дефектів та помилок системи розпізнавання, застосування алгоритмів

Під час тестування попередніми методами роботи системи були виявлені певні недоліки, які впливали на її ефективність та надійність. Одним з найбільш помітних недоліків були проблеми з розпізнаванням кольорів світлофорів у певних умовах, зокрема, при зміні освітлення або в умовах відблисків. У таких ситуаціях система не завжди правильно визначала колір сигналу світлофора, що може призводити до неправильних рішень або дій водіїв на дорозі. Ці проблеми створювали ризик для безпеки дорожнього руху та зменшували ефективність системи в цілому.

В результаті виявлених недоліків було прийняте рішення доопрацювати алгоритм розпізнавання кольорів світлофорів. Мета цього процесу полягає в тому, щоб система була більш адаптивною до різних умов дорожнього середовища та могла надійно працювати в різних ситуаціях. Подолання цих недоліків має на меті покращити якість роботи системи та забезпечити безпеку дорожнього руху, зменшуючи ризик неправильного розпізнавання світлофорів і відповідних рішень, прийнятих системою.

З метою поліпшення роботи системи було вирішено використовувати алгоритм, який шукає округлу область на зображенні з однаковими кольорами та визначає колір на основі цієї області. Це дозволяє покращити точність системи до зміни умов дорожнього середовища та зменшити хибні спрацьовування системи. Після визначення кольору світлофора система виводить його на екран для подальшого аналізу або використання. Цей підхід має на меті покращити ефективність та надійність роботи системи у різних умовах експлуатації на дорозі.

Після внесення змін у код програми та вдосконалення алгоритму розпізнавання кольорів світлофорів, блок-схема роботи програми отримала оновлену структуру, яку зображено на рисунку 4.9. Нова блок-схема відображає процес роботи системи, з урахуванням вдосконалених алгоритмів та методів аналізу кольорів.

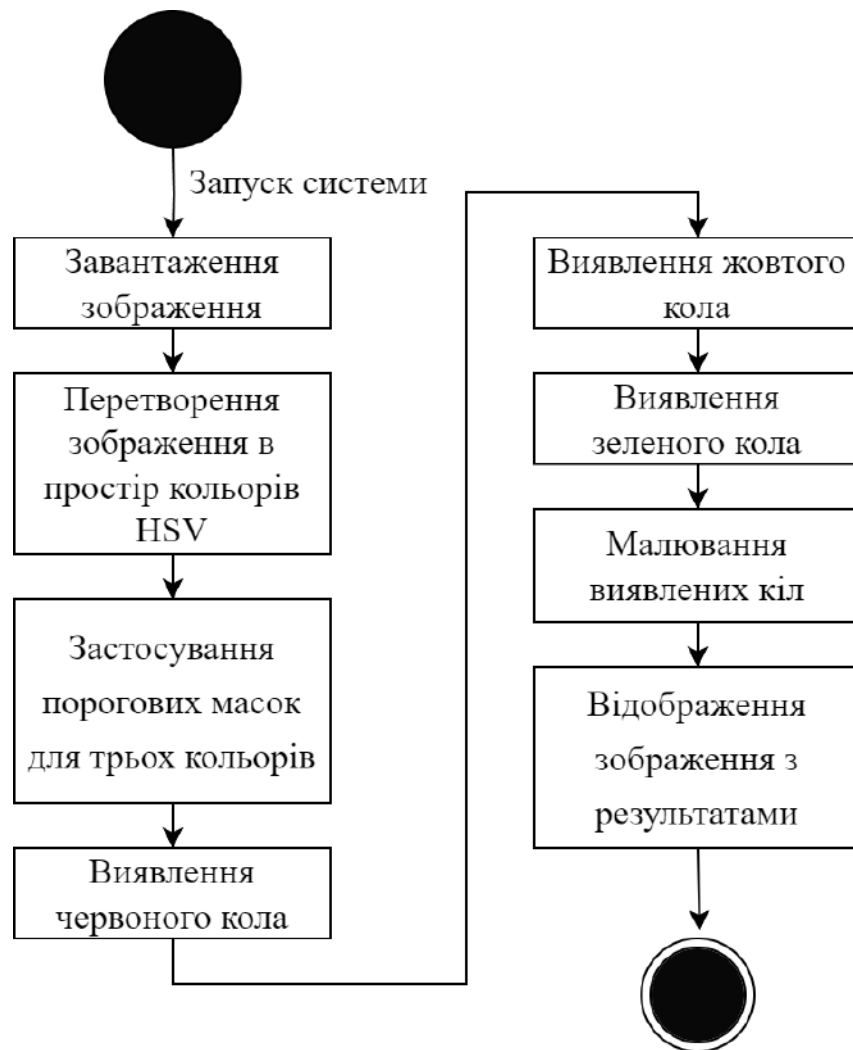


Рисунок 4.9 – Модифікована блок-схема роботи системи

Ця блок-схема описує процес роботи програми для знаходження світлофорів на знімках екрану. Після початку роботи програми завантажуються необхідні змінні.

Після цього відбувається головний цикл програми, який безперервно повторюється до завершення роботи програми. У циклі програма захоплює знімок

екрану за допомогою вказаних параметрів монітора та перетворює його до простору кольорів HSV для подальшої обробки. Далі застосовуються порогові маски для кожного з трьох основних кольорів світлофорів: червоного, зеленого і жовтого.

Після цього програма використовує алгоритм Гафа для знаходження колів на зображенні, що відповідають кожному з трьох кольорів світлофорів. Якщо коло виявлено, воно позначається на вихідному зображенні, а також додається відповідний текст (червоне, зелене або жовте світло).

Після виявлення і позначення колів програма відображає результати на екрані.

Загальний процес роботи програми полягає в безперервному захопленні знімків екрану, обробці їх для детектування світлофорів та інших об'єктів з суміжних підсистем та відображенні результатів для користувача.

Також було розроблено діаграму станів підсистеми, яка продемонстрована на рисунку 4.10. Вона відображає процес обробки зображення в системі розпізнавання світлофорів.

Починаючи з отримання зображення з відеоматеріалу, система переходить до наступних етапів обробки. Перший крок полягає у накладанні порогових масок на зображення, що допомагає виділити області з потенційними світлофорами.

Після цього система переходить до етапу пошуку круглої форми на зображенні.

Це важливий крок, оскільки світлофори часто мають круглу або подібну форму.

Якщо система виявляє круглу область червоного кольору, вона продовжує обробку, обводячи знайдену область та виводячи оброблене зображення на дисплей.

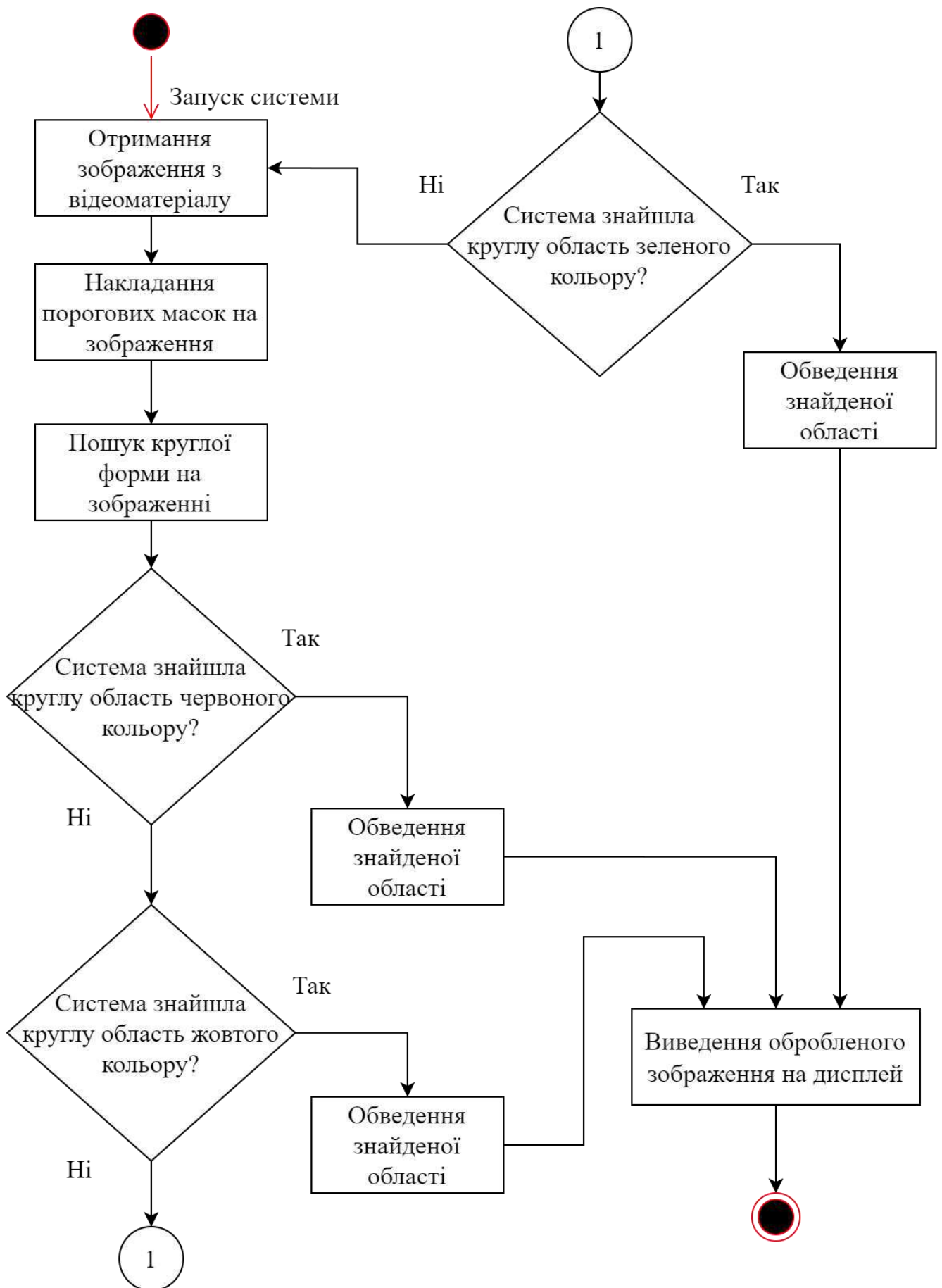


Рисунок 4.10 – Діаграма станів підсистеми

У випадку, якщо система не виявляє червону область, вона переходить до наступного кроку, де шукає круглу область жовтого кольору. Якщо ж жовтого кольору немає, система переходить до пошуку зеленої області. Кожен з цих кроків включає обведення знайденої області та виведення обробленого зображення на дисплей.

Якщо ні одна з трьох кольорових областей не знайдена, система повертається до початку процесу, отримуючи нове зображення з відеоматеріалу. Така послідовність дій допомагає системі ефективно розпізнавати та відобразити світлофори на зображеннях з відеоматеріалу.

4.5 Заклучний етап тестування системи визначення сигналів світлофора за допомогою симуляції

Після впровадження нового алгоритму розпізнавання сигналів світлофора в систему, стає очевидною потреба у проведенні додаткового етапу тестування для перевірки його ефективності та надійності. У цьому випадку для проведення тестів було обрано використання симулятора, який дозволяє проектувати різноманітні ситуації дорожнього руху, а також відтворювати різні умови, які можуть виникнути на дорозі.

В якості симулятора була обрана комп'ютерна гра "Euro Truck Simulator 2", яка відома своєю деталізованою промальовкою доріг, інфраструктури та дорожніх знаків. Ця гра наближено відтворює реальні умови дорожнього руху і надає можливість експериментувати з різними сценаріями без необхідності виїзду на реальну дорогу на ранніх етапах тестування.

"Euro Truck Simulator 2" - це відомий симулятор водіння великогабаритних вантажівок, який відтворює реалістичні умови дорожнього руху та дозволяє гравцеві відчувати себе в ролі водія вантажівки. Використання цієї гри для тестування системи визначення сигналів світлофора дає можливість створити різноманітні сценарії дорожнього руху на різних дорогах, в умовах різної погоди та освітлення, що сприяє реалістичному моделюванню ситуацій, які можуть виникнути на дорозі.

Такий тип тестування дозволяє проводити експерименти у безпечному середовищі, уникнути витрат на паливо та час на поїздки на дорогу, і, одночасно, реалізувати широкий спектр сценаріїв для тестування. Такий підхід є важливим для забезпечення високої якості та надійності системи розпізнавання сигналів світлофора в різних умовах дорожнього руху.

Приклад застосування даного симулятора для тестування розпізнавання червоного сигналу світлофора показано на рисунку 4.11.



Рисунок 4.11 – Перехрестя зі світлофором, на якому горить червоний сигнал

На зображенні представлено перехрестя зі світлофором, який світить червоним кольором, що означає необхідність зупинки транспортних засобів. Щоб удосконалити розпізнавання кольору світлофора, в алгоритмі була впроваджена нова функціональність. Тепер система аналізує області, які мають однаковий кольоровий відтінок, щоб точніше визначити колір світлофора. На зображенні

видно червоне коло, яке обводить червоний світлофор, супроводжується написом "RED", що є результатом роботи нового алгоритму.



Рисунок 4.12 – Розпізнавання світлофорів, що світять червоним на жовтим кольорами

На рисунку 4.12 зображено момент розпізнавання червоного та жовтого сигналів світлофора, що означає приготуватися до руху. Тестування показало що застосований метод значно покращив точність розпізнавання світлофорів. Новий підхід дозволив системі точніше ідентифікувати різні кольори світлофорів, що зменшує ймовірність хибних розпізнавань. Застосування цього методу також істотно підвищило стійкість системи до помилкових розпізнавань. Це означає, що система розпізнає світлофор в більш складних умовах, таких як зміни в освітленні або в тіні, а також залишається надійною і ефективною в визначенні кольорів.

Застосування симулятора для тестування системи має декілька переваг. По-перше, це дозволяє створити широкий спектр сценаріїв, які можуть виникнути на дорозі, включаючи різні погодні умови, типи дорожнього покриття та інтенсивність транспортного руху. По-друге, симулятор дозволяє відтворити різні типи світлофорів та їх розміщення, що дає можливість перевірити ефективність роботи системи в різних ситуаціях.

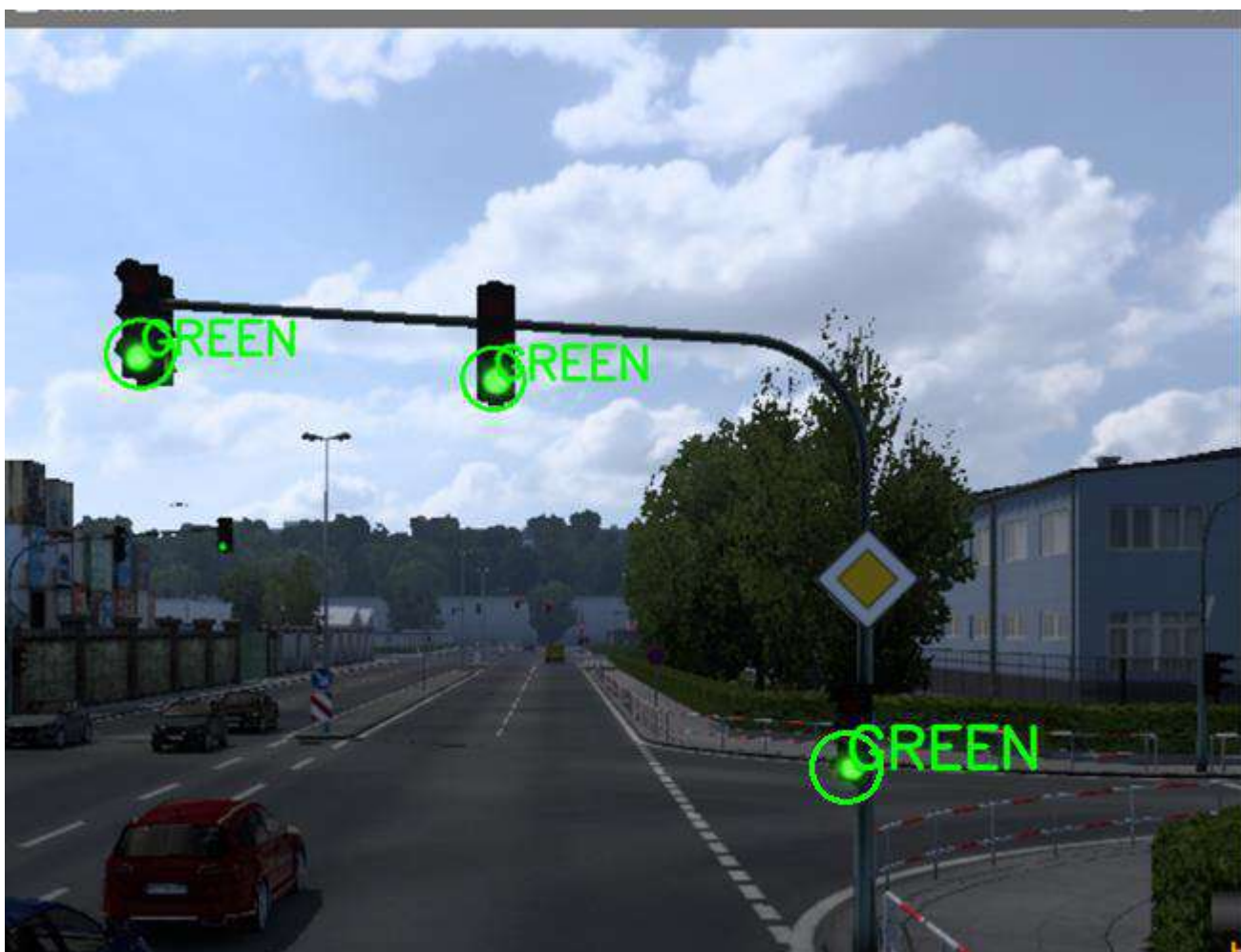


Рисунок 4.13 – Перехрестя, на якому світять світлофори, які дозволяють рух

На рисунку 4.13 представлено інше перехрестя з трьома світлофорами. Всі світлофори сигналізують зелений сигнал світлофора, що дозволяє рух. На зображенні також присутні дві смуги дороги, над кожною з яких розміщений світлофор. Варто зазначити, що система розпізнає два верхніх та світлофор, що розташований праворуч на стовпі., але є проблеми з розпізнаванням світлофора,

що розташований ліворуч на стовпі, що розташований над зустрічною смугою. При значному наближенні до нього система починає відображати і його.

Це свідчить про покращення роботи системи у розпізнаванні світлофорів, але також підкреслює, що є ще проблемні аспекти, які потребують подальшого вдосконалення. Не завжди коректне розпізнавання третього світлофора може бути пов'язане з його позицією на стовпі та відстані від дороги, що створює складніші умови для алгоритму.

Ще однією перевагою використання симулятора є зниження витрат на проведення тестів, оскільки не потрібно витрачати час та ресурси на виїзди на дорогу для проведення експериментів. Крім того, симулятор дозволяє повторювати та модифікувати тестові сценарії для отримання більш детальної інформації про роботу системи.

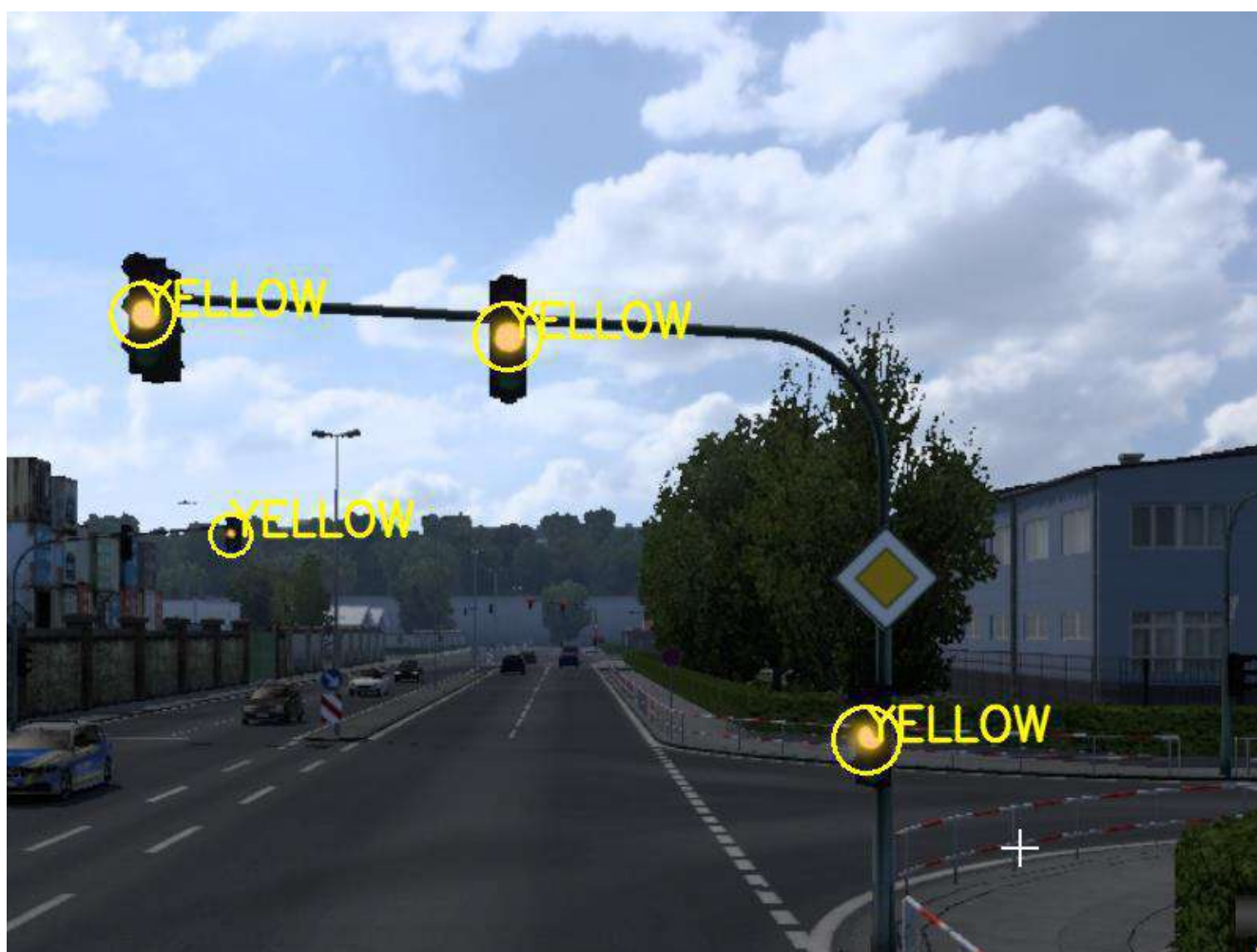


Рисунок 4.14 – Світлофори, що горять жовтим світлом

Використання симулятора, такого як Euro Truck Simulator 2, надає можливість виконати тестування у контрольованому середовищі, де можна створити різноманітні сценарії дорожнього руху та протестувати систему за різних умов освітлення. Такий метод тестування дозволяє ефективно виявляти проблеми та помилки у роботі системи, а також перевіряти її працездатність в різних умовах без необхідності виходу на дорогу.

На рисунку 4.14 показано перехрестя з трьома світлофорами. Два з них розташовані над кожною із двох смуг руху, тоді як третій світлофор розміщений праворуч на стовпі. Світлофори показують жовте світло. Система успішно розпізнає два верхніх світлофори, але виявляє труднощі з розпізнаванням третього, який знаходиться на стовпі. Це може бути пов'язано з поганим кутом огляду або нестандартним положенням світлофора, що ускладнює процес розпізнавання. Такі ситуації підкреслюють важливість розвитку системи, яка була б досконалішою та більш адаптивною до різноманітних умов.

Саме тому застосування симулятора для тестування системи розпізнавання сигналів світлофора є ефективним та економічно доцільним підходом, який дозволяє забезпечити високу якість та надійність роботи системи в різних умовах дорожнього руху.

4.6 Висновки

В даному розділі було протестовано систему розпізнавання світлофорів на основі сегментації кольорів, а також вирішено ряд проблем, пов'язаних з детекцією світлофорів.

Під час першого етапу тестування, коли система аналізувала статичні зображення, було помічено декілька ключових моментів. Спочатку, методика демонструвала високу точність в розпізнаванні кольорів світлофорів, що є позитивним аспектом.

Під час другого етапу тестування проводилася інтенсивна аналітика відеоданих, яка показала здатність системи адаптуватися до різних умов освітлення та фону.

Однак у більш складних умовах, коли фон або освітлення могли бути різними, система зіштовхнулася з труднощами в розпізнаванні окремих сигналів. Це може бути пов'язано з тим, що різні фони або варіації освітлення впливають на кольори, що розпізнаються системою, що зумовлює виникнення помилок у розпізнаванні сигналів.

Проте, під час аналізу виявлено недоліки в реальному часі обробки даних, що стало фактором для подальшого вдосконалення системи. Незважаючи на успішний аналіз відеоматеріалів, виявлення недоліків у роботі системи у реальному часі вказує на потребу в оптимізації та покращенні алгоритмів обробки даних.

Розділ виявлення дефектів та помилок дозволив зосередитися на проблемі розпізнавання червоного, жовтого та зеленого сигналів, в тому числі на різних фонових забарвленнях. Шляхом доопрацювання алгоритму, було досягнуто значного покращення точності та стійкості розпізнавання.

Заключний етап тестування, проведений у середовищі симуляції на основі гри “Euro Truck Simulator 2”, підтвердив ефективність оновленого методу виявлення світлофорів, а також продемонстрував його підвищену надійність розпізнавання сигналів в порівнянні з попереднім методом при симуляції реальних умов.

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено підсистему визначення сигналів світлофора з використанням алгоритму на основі сегментації кольорів. Ця система поєднує в собі ефективність алгоритму сегментації кольорів з високою швидкістю обробки даних на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+. В результаті тестування було підтверджено покращення точності розпізнавання сигналів світлофора та збільшення завадостійкості системи. Розроблена система демонструє надійну роботу та може бути ефективно використана для вирішення завдань контролю руху на дорогах.

У першому розділі роботи докладно розглянуто концепцію світлофора, включаючи його функціональне призначення, будову та роль у дорожньому руху. Проведений огляд дозволив зрозуміти важливість світлофорів у регулюванні та безпеці дорожнього руху, а також визначити основні аспекти, які потрібно враховувати при їхньому розробленні та впровадженні. Відзначено роль технологічних рішень у вдосконаленні систем світлофорів і сформульовано завдання кваліфікаційної роботи, спрямоване на створення ефективної та точної системи розпізнавання сигналів світлофора з використанням сучасних технологій обробки зображень та машинного навчання.

В другому розділі роботи було проведено детальний огляд апаратної складової системи, спрямований на вибір оптимальної моделі для розпізнавання світлофорів. В аналізі було розглянуто два основних варіанти: модель YOLOv4 та модель, яка базується на кольоровій сегментації. Проведено порівняльний аналіз ефективності обох моделей для мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+.

Дослідження включало в себе аналіз різних кольорових просторів, таких як HSV, RGB та YCbCR, для визначення найбільш ефективного підходу до розпізнавання світлофорів. З урахуванням обмежених обчислювальних ресурсів мікрокомп'ютера та потреби у швидкості обробки було вирішено віддати перевагу моделі, що використовує кольорову сегментацію та простір кольорів HSV.

В третьому розділі магістерської роботи вивчалася апаратна складова системи розпізнавання світлофорів. Ретельно проаналізовано компоненти, що становлять основу цієї системи, включаючи камеру для Raspberry Pi, LCD дисплей та мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3B+. Особлива увага була приділена вивченню раціональності використання бібліотеки OpenCV, яка надала зручний та ефективний інструментарій для обробки зображень та відеоданих в контексті розпізнавання світлофорів.

Під час аналізу технічних аспектів були встановлені фундаментальні принципи, які лягли в основу подальшої реалізації системи. Відзначена важливість блок-схем, що ілюструють роботу системи, що дозволяє краще зрозуміти її функціонування та взаємозв'язок між компонентами.

Четвертий розділ роботи був спрямований на проведення тестування системи розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху. Під час цього розділу було заплановано та реалізовано три основні типи тестування, кожен з яких мав свою унікальну специфіку.

Перший етап тестування передбачав аналіз статичних зображень, що дозволяло оцінити здатність системи розпізнавати світлові сигнали на фотографіях без руху транспортних засобів.

Другий етап, у свою чергу, включав тестування на основі відеоданих, де система була випробувана на реальних відеозаписах дорожнього руху. Під час цього етапу було виявлено певні недоліки в роботі системи, які потребували подальшої оптимізації.

У заключному етапі тестування було проведено перевірку модифікованої моделі визначення кольорів світлофора в середовищі симуляції, використовуючи гру "Euro Truck Simulator 2". Цей етап дозволив оцінити ефективність нового методу розпізнавання сигналів світлофорів в умовах, які наближаються до реальних, що також сприяло покращенню оптимізації роботи системи. Результати цього етапу свідчили про позитивні зрушення у роботі системи, що відобразилося на її здатності розпізнавати світлові сигнали більш надійно та точно в різноманітних умовах дорожнього середовища.

Впровадження результатів роботи дозволило значно покращити ефективність системи розпізнавання світлових сигналів на дорогах. Завдяки застосуванню нових методів тестування та оптимізації алгоритмів розпізнавання, система стала більш надійною та точною в роботі. Це сприяло підвищенню рівня безпеки на дорозі, оскільки водії отримали надійний інструмент для вчасного сприйняття світлових сигналів та вирішення відповідних дорожніх ситуацій. Крім того, вдосконалення системи також призвело до зменшення кількості хибних розпізнавань та збільшення завадостійкості, що зробило її більш придатною для реального застосування на дорогах.

За темою кваліфікаційної роботи магістра було опубліковано чотири статті в яких я брав участь як співавтор (додаток Б):

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)*. October, 2023. Pp. 1-7
2. 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.
3. 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.
4. 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.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Hovorushchenko T., Pavlova O., Binkovskyi Y., Bilinska A., Holovatiuk A., & Melnychuk D. (2023, October). Road Accident Prevention System. *In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)* (pp. 1-7). IEEE.
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.
5. Вибухнув і поранив поліцейського - як працював найперший вуличний світлофор. URL: https://gazeta.ua/articles/edu-and-science/_vibuhnuv-i-poraniv-policejskogo-yak-pracyuvav-najpershij-vulichnij-svitlofor/1002014 (дата звернення 29.03.2024)
6. Статистика | Патрульна поліція України. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 05. 03.2024).
7. 17th Annual Road Safety Performance Index. (PIN Report) URL: <https://etsc.eu/17th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/> (дата звернення 09.03.2024)
8. Види світлофорів для регулювання. URL: <https://pdr.infotech.gov.ua/theory/traffic-light> (дата звернення: 16. 03.2024)

9. Amazon.com: Raspberry Pi Camera Module. URL: <https://www.amazon.com/Raspberry-Pi-Camera-Module-Megapixel/dp/B01ER2SKFS> (дата звернення: 17. 03.2024)
10. Raspberry Pi 3 Pinout, Features. URL: <https://components101.com/microcontrollers/raspberry-pi-3-pinout-features-datasheet>(дата звернення: 15. 03.2024)
11. Корпус до дисплею Raspberry Pi 7". URL: <https://hobbytech.com.ua/product/korpus-do-duspleu-raspberry-pi-7-touchscreen-display-case-black/> (дата звернення: 04. 04.2024)
12. 7" ОФІЦІЙНИЙ ДИСПЛЕЙ RASPBERRY PI. URL: <https://miniboard.com.ua/display/890-7-oficijnij-displej-raspberry-pi.html> (дата звернення: 04. 04.2024)
13. Widyanoro D. H., & Saputra K. I. Traffic lights detection and recognition based on color segmentation and circle hough transform. *In 2015 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE) IEEE*. 2015, November. Pp. 237-240.
14. Zhao Y., Feng Y., Wang Y., Zhang Z., Zhang Z. *Study on detection and recognition of traffic lights based on improved YOLOv4. Sensors/* 2022. Vol. 22, No. 20. P. 7787.
15. Wang Q., Zhang Q., Liang X., Wang Y., Zhou C., Mikulovich V. I. *Traffic Lights detection and recognition method based on the improved YOLOv4 algorithm. Sensors*. 2022. Vol.22, No.1. P.200.
16. Wang C. Y., Liao H. Y. M., Wu Y. H., Chen P. Y., Hsieh J. W., Yeh I. H. CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* 2020. Pp. 390-391.
17. YOLOv8 Model Guide. URL: <https://www.modelbit.com/model-hub/yolo-v8-model-guide> (дата звернення: 08. 04.2024)
18. Recognition of traffic lights in urban traffic scenes using color space model. URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of->

spie/10836/108360R/Recognition-of-traffic-lights-in-urban-traffic-scenes-using-color/10.1117/12.2514674.full?tab=ArticleLink (дата звернення: 04. 04.2024)

19. Колірна модель HSB. URL: <https://cases.media/article/kolirna-model-hsb> (дата звернення: 08. 04.2024)

20. Mu G., Xinyu Z., Deyi L., Tianlei Z., Lifeng A. Traffic light detection and recognition for autonomous vehicles. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*. 2015. Vol. 22, No. 1. Pp.50-56.

21. Ash R., Ofri D., Brokman J., Friedman I., Moshe Y. Real-time pedestrian traffic light detection. *In 2018 IEEE international conference on the science of electrical engineering in Israel (ICSEE)*. IEEE. 2018, December. Pp. 1-5.

22. Saini S., Nikhil S., Konda K. R., Bharadwaj H. S., Ganeshan N. (2017, June). An efficient vision-based traffic light detection and state recognition for autonomous vehicles. *In 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. IEEE. Vol. 4. Pp. 606-611 .

23. Ozcelik Z., Tastimur C., Karakose M., Akin E. A vision based traffic light detection and recognition approach for intelligent vehicles. *In 2017 international conference on computer science and engineering (UBMK)*. IEEE. 2017, October. Pp. 424-429.

24. Sarhan N. H., Al-Omary A. Y. Traffic light Detection using OpenCV and YOLO. *In 2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*. IEEE. 2022, November . Pp. 604-608.

25. Deshpande H., Singh A., Herunde H. Comparative analysis on YOLO object detection with OpenCV. *International journal of research in industrial engineering*. 2020. Vol. 9. No. 1. Pp. 46-64.

26. Wang X., Cheng X., Wu, X., Zhou H., Chen X., & Wang L. Design of traffic light identification scheme based on TensorFlow and HSV color space. *In Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. September, 2018. Vol. 1074, No. 1, P. 012081.

27. Raspberry-Pi-7-Touchscreen-Display-Case-Black. URL: <https://hobbytech.com.ua/wp-content/uploads/2016/04/Raspberry-Pi-7-Touchscreen-Display-Case-Black-1.jpg> (дата звернення: 11. 04.2024)

28. Deshpande H., Singh A., Herunde H. Comparative analysis on YOLO object detection with OpenCV. *International journal of research in industrial engineering*, 2020 Vol. 9, No. 1. Pp. 46-64.
29. Kulkarni R., Dhavalikar S., Bangar S. Traffic light detection and recognition for self driving cars using deep learning. *In 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA). IEEE.* August, 2018. Pp. 1-4.
30. De Charette R., Nashashibi F. Traffic light recognition using image processing compared to learning processes. *In 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE.* October, 2009. Pp. 333-338
31. Liu W., Li S., Lv J., Yu B., Zhou T., Yuan H., Zhao H. Real-time traffic light recognition based on smartphone platforms. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology.* 2016. Vol. 27. No. 5. Pp. 1118-1131.
32. Niu C., Li K. Traffic light detection and recognition method based on YOLOv5s and AlexNet. *Applied Sciences*, 2022. Vol. 12. No. 21. P. 10808.
33. The Secret to Safer Roads Revealed: Traffic Light Recognition. URL: <https://www.augmentedstartups.com/blog/the-secret-to-safer-roads-revealed-traffic-light-recognition> (дата звернення: 15. 04.2024)
34. Купити Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3 Model B+. URL: <https://evo.net.ua/raspberry-pi-3-model-b/> (дата звернення: 15. 04.2024)
35. Chen X., Chen Y., Zhang G. A computer vision algorithm for locating and recognizing traffic signal control light status and countdown time. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2021, Vol. 25. No. 5. Pp. 533-546.
36. Li X., Ma H., Wang X., Zhang X. Traffic light recognition for complex scene with fusion detections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017. Vol. 19. No. 1. Pp. 199-208.
37. da Silva Soares J. C., Borchardt T. B., de Paiva A. C., de Almeida Neto A. Methodology based on texture, color and shape features for traffic light detection and recognition. *In 2018 international joint conference on neural networks (IJCNN). IEEE.* Pp. 1-7.

38. Денисенко О. В. Пристрій сканування для систем моніторингу перехресть. *Харківський національний автомобільно-дорожній університет*. 2021.
39. Vitas D., Tomic M., Burul M. Traffic light detection in autonomous driving systems. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2020. Vol. 9. No. 4. Pp. 90-96.
40. Yu C., Bai Y. A traffic light detection method. In *Advanced Technology in Teaching: Selected papers from the 2012 International Conference on Teaching and Computational Science (ICTCS 2012) Springer Berlin Heidelberg*. 2013. Pp. 745-751
41. Wang W., Sun S., Jiang M., Yan Y., Chen X. Traffic lights detection and recognition based on multi-feature fusion. *Multimedia Tools and Applications*, 2017. Vol. 76. Pp. 14829-14846.
42. Kim S., Han D. S. (2017). Real time traffic light detection algorithm based on color map and multilayer HOG-SVM. *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 22. No. 1. Pp. 62-69.
43. Binangkit J. L., Widyanoro D. H. Increasing accuracy of traffic light color detection and recognition using machine learning. In *2016 10th international conference on telecommunication systems services and applications (TSSA)*. IEEE. October, 2016. Pp.1-5.
44. Jang C., Cho, S., Jeong S., Suhr J. K., Jung H. G., Sunwoo M. *Traffic light recognition exploiting map and localization at every stage*. *Expert Systems with Applications*, 2017. Vol. 88. Pp. 290-304.
45. Hirabayashi M., Sujiwo A., Monrroy A., Kato S., Edahiro M. *Traffic light recognition using high-definition map features*. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 111, Pp. 62-72.
46. Lu K. H., Wang C. M., Chen S. Y. Traffic light recognition. *Journal of the Chinese institute of engineers*, 2008. Vol. 31. No. 6. Pp. 1069-1075.
47. Fregin A., Müller J., Dietmayer K. Feature detectors for traffic light recognition. In *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. IEEE. Pp. 339-346.
48. Chandrika R. R., Vanitha K., Thahaseen A., Chandramma R., Neerugatti V., & Mahesh T. R. Number Plate Recognition Using OpenCV. In *2024 International*

Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI) 2024, March Pp. 1-4).

49. GANGA D., BHARATH V., SRI P. N., TULASI T., SHAROOK S. SOCIAL DISTANCE DETECTOR USING OPENCV YOLO, CNN ALGORITHM IN DEEP LEARNING.

50. Matsubara S., Zennouji T., Jiang H., Hamamoto K. Rapid automatic waveguide recognition using YOLO and OpenCV for 3D waveguide fabrication. *Japanese journal of applied physics*, 61(SK), SK1023. 2022.

51. How do I detect traffic signs and light using OpenCV? URL: <https://www.quora.com/How-do-I-detect-traffic-signs-and-light-using-OpenCV> (дата звернення: 17. 04.2024)

52. An Intelligent Traffic Light Management system. URL: <https://www.pantechsolutions.net/an-intelligent-traffic-light-management-system-using-open-cv-python> (дата звернення: 17. 04.2024)

53. Veni S. S., Hiremath A. S., Patil M., Shinde M., Teli A. Video-Based Detection, Counting and Classification of Vehicles Using OpenCV.2020.

54. Hui-Xing, and ZHANG YuJin. "A Survey of Computer Vision-Based Pedestrian Detection for Driver Assistance Systems", *Acta Automatica Sinica* 33.01. 2007. Pp. 84-90.

55. Hemasri, M., et al. "Real Time Object Detection and Tracking Using Open cv." *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Pp. 8080-8091.

56. Gao F., Wang C. Hybrid strategy for traffic light detection by combining classical and self-learning detectors. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020. Vol. 14. No. 7. Pp. 735-741.

57. da Silva F. C. F., Siswanto D., Istiadi I. Design Prototype of Traffic Light Control System using HSV Colour Segmentation. *Evolution of Information, Communication and Computing System*, 2022. Pp. 80-91.

58. YOLO object detection with OpenCV. URL: <https://pyimagesearch.com/2018/11/12/yolo-object-detection-with-opencv/> (дата звернення: 20. 04.2024)

59. RealTime Object detection using YOLO and OpenCV. URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/realtime-object-detection-using-yolo-and-opencv-8380e5537f2a> (дата звернення: 20. 04.2024)
60. YOLO Object Detection with OpenCV and Python. URL: <https://towardsdatascience.com/yolo-object-detection-with-opencv-and-python-21e50ac599e9> (дата звернення: 21. 04.2024)
61. Shubho F. H., Iftekhhar F., Hossain E., Siddique S. Real-time traffic monitoring and traffic offense detection using YOLOv4 and OpenCV DNN. *In TENCON 2021-2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON) 2021*, December. Pp. 46-51.
62. Dahirou Z., Zheng M. Motion Detection and Object Detection: Yolo (You Only Look Once). *In 2021 7th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC) 2021*, July. Pp. 250-257.
63. Moizumi H., Sugaya Y., Omachi M., Omachi S. Traffic light detection considering color saturation using in-vehicle stereo camera. *Journal of Information Processing*, 2016. Vol. 24. No. 2. Pp. 349-357.
64. Alam A., Jaffery Z. A. A vision-based system for traffic light detection. *In Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering: SIGMA 2018, 2019*. Vol. 1. Pp. 333-343.
65. Possatti L. C., Guidolini R., Cardoso V. B., Berriel R. F., Paixão T. M., Badue C., Oliveira-Santos T. Traffic light recognition using deep learning and prior maps for autonomous cars. *In 2019 international joint conference on neural networks (IJCNN)*, 2019, July. Pp. 1-8.
66. Tran T. H. P., Pham C. C., Nguyen T. P., Duong T. T., Jeon J. W. Real-time traffic light detection using color density. *In 2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia)*, 2016, October. Pp. 1-4.
67. Bach M., Reuter S., & Dietmayer K. Multi-camera traffic light recognition using a classifying Labeled Multi-Bernoulli filter. *In 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2017*, June. Pp. 1045-1051.

68. Yabuuchi K., Hirano M., Senoo T., Kishi N., Ishikawa M. Real-time traffic light detection with frequency patterns using a high-speed camera. *Sensors*, 2020. Vol. 20, No. 14. P. 4035.
69. Shahista S., Khan A. K. Detection of the traffic light in challenging environmental conditions. *In International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing, EasyChair*, February, 2021. Vol. 5, p. 2021.
70. Parr, Shane, et al. "Agent-aware state estimation: Effective traffic light classification for autonomous vehicles." *ICRA 2020 Workshop on Sensing, Estimating and Understanding the Dynamic World*. 2020.
71. Suganuma N., Yoneda K. (2022). Current status and issues of traffic light recognition technology in Autonomous Driving System. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.105, No. 5. Pp. 763-769.
72. Al-Ezaly E., M. El-Bakry H., Abo-Elfetoh A., Elhishi S. An innovative traffic light recognition method using vehicular ad-hoc networks. *Scientific reports*, 2023. Vol. 13, No.1, P. 4009.
73. Ivanchenko V., Coughlan J., Shen H. Real-time walk light detection with a mobile phone. *In Computers Helping People with Special Needs: 12th International Conference, ICCHP 2010, Vienna, Austria, July14-16, 2010, Proceedings, Part II 12*. 2010. Pp. 229-234.
74. Priyanka D., Dharani K., Anirudh C., Akshay K., Sunil, M. P., & Hariprasad S. A. Traffic light and sign detection for autonomous land vehicle using Raspberry Pi. *In 2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*. November, 2017. Pp. 160-164.
75. Kim H. K., Park J. H., & Jung H. Y. Vision based traffic light detection and recognition methods for daytime LED traffic light. *IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications*, 2014. Vol. 9, No. 3, Pp.145-150.
76. Lin S. Y., & Lin H. Y. (2021, December). A two-stage framework for diverse traffic light recognition based on individual signal detection. *In Mediterranean*

Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence. December, 2021. Pp. 265-278.

77. Ouyang Z., Niu, J., Liu Y., & Guizani M. Deep CNN-based real-time traffic light detector for self-driving vehicles. *IEEE transactions on Mobile Computing*, 2019 Vol. 19, No. 2, Pp. 300-313.

78. Yoneda K., Kuramoto A., Suganuma N., Asaka T., Aldibaja M., & Yanase R. Robust traffic light and arrow detection using digital map with spatial prior information for automated driving. *Sensors*, 2020. Vol. 20. No. 4, P. 1181.

79. Tomar I., Sreedevi I., & Pandey N. State-of-Art review of traffic light synchronization for intelligent vehicles: current status, challenges, and emerging trends. *Electronics*, 2022. Vol 11, No. 3, P.465.

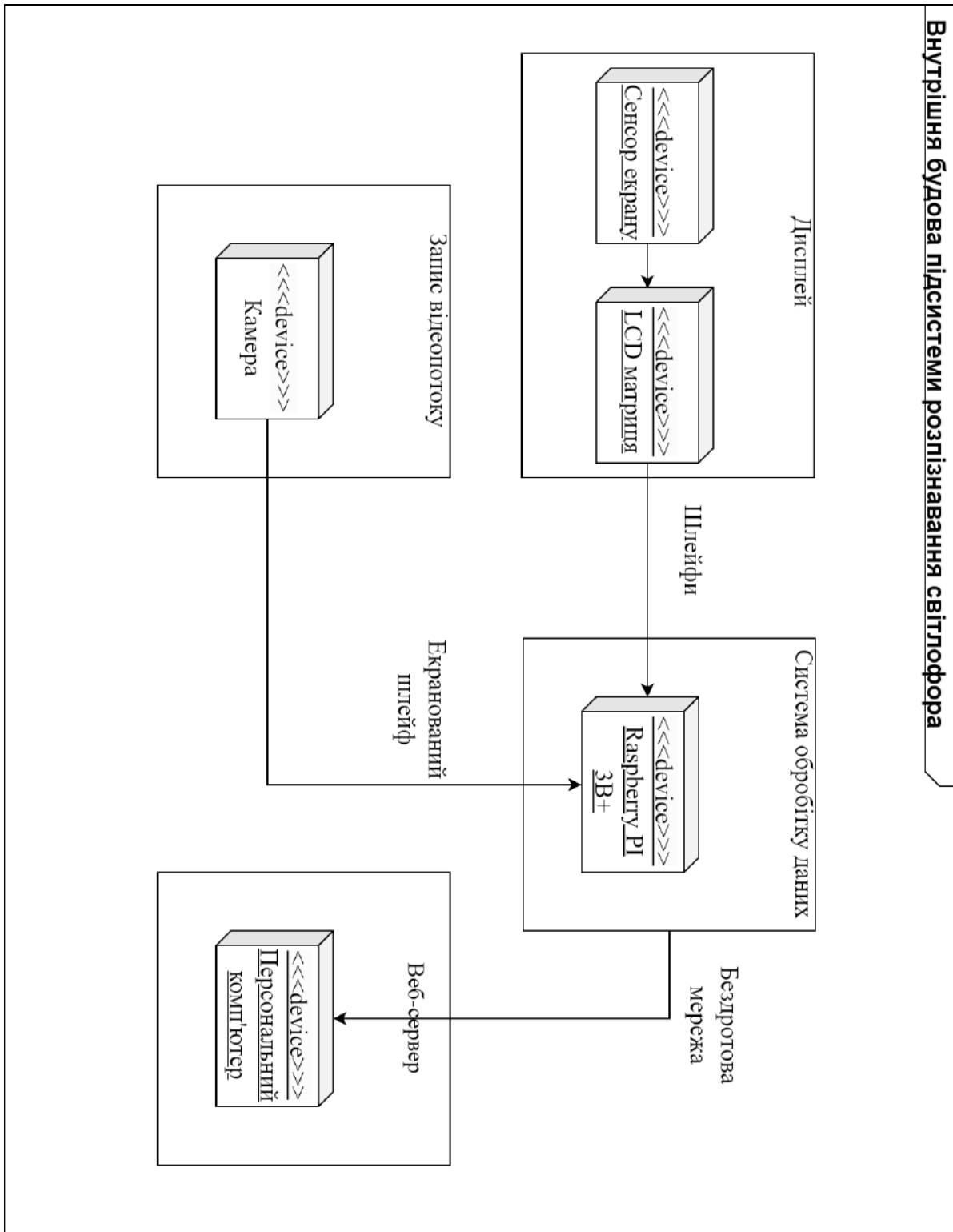
80. Gong S., Kumar R., & Kumutha D. Design of lighting intelligent control system based on OpenCV image processing technology. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 29(Supp01), 2021. Pp. 119-139.

81. Agarwal N., Sharma A., & Chang J. R. Real-time traffic light signal recognition system for a self-driving car. In *Advances in Signal Processing and Intelligent Recognition Systems: Proceedings of Third International Symposium on Signal Processing and Intelligent Recognition Systems (SIRS-2017), September 13-16, 2017, Manipal, India*. 2018. Pp. 276-284.

82. Mellor Traffic Lights at Pedex Crossing on Strand, Charing Cross (London)
URL:<https://www.youtube.com/watch?v=ODI73ilQgEk&list=PLo46Cf5I-mVqyMjwH2LVL3k5wPT5WJa0o&index=3> (дата звернення: 01. 05.2024)

ДОДАТОК А (обов'язковий)

ДІАГРАМА РОЗГОРТАННЯ СИСТЕМИ



ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

КОПІЇ ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

1. Novorushchenko T., Pavlova O., Binkovskyi Y., Bilinska A., Holovatiuk A., & Melnychuk D. (2023, October). Road Accident Prevention System. In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT) (pp. 1-7). IEEE.
2. 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.
3. . 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.
4. 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.

Road Accident Prevention System

Tetiana Hovorushchenko
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
tat_vana@ukr.net

Olga Pavlova
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
olya1607pavlova@gmail.com

Yaroslav Binkovskiy
Department of Computer Engineering
& Information Systems of Khmelnytskyi
National University
Khmelnytskyi, Ukraine
binkovsky22@gmail.com

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

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

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

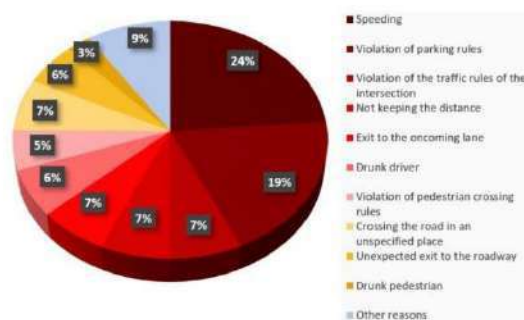


Fig. 1. Pie chart of statistics on the main causes of road accidents

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 deviations 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	Utilizing 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 unsuitable 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].

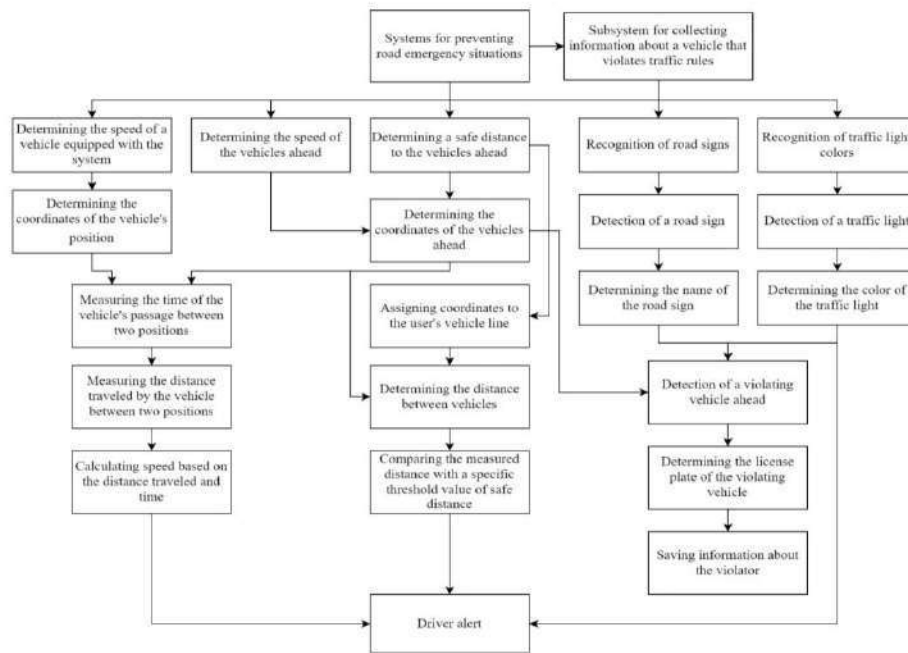


Fig. 2. System decomposition diagram

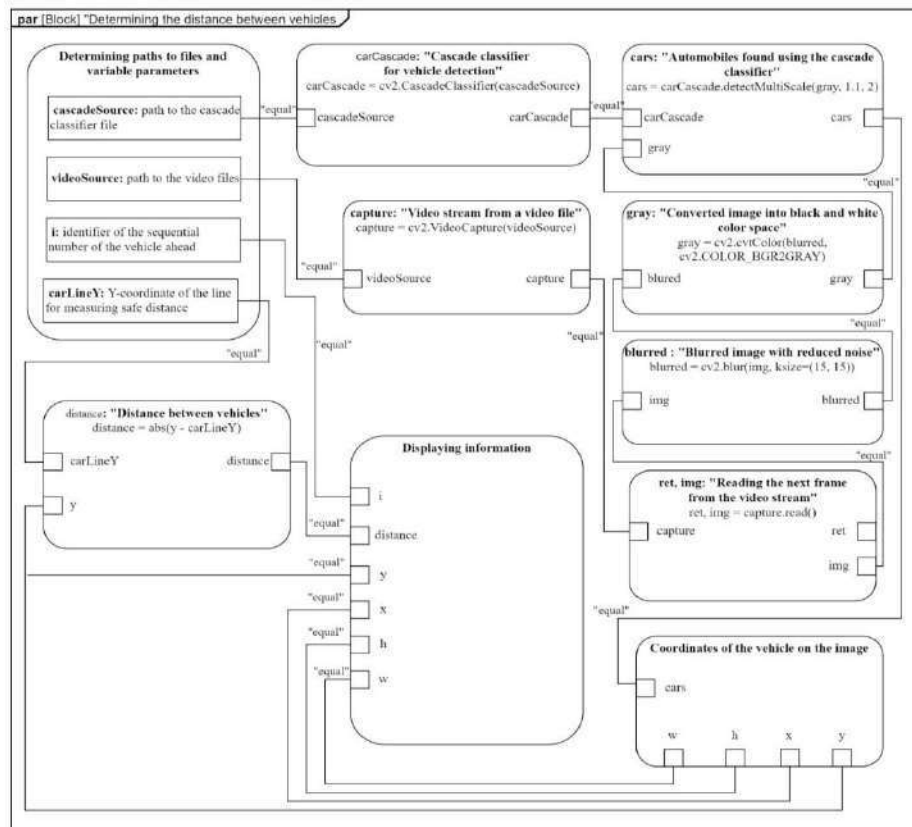


Fig. 3. Parametric diagram for calculating the distance between cars

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.

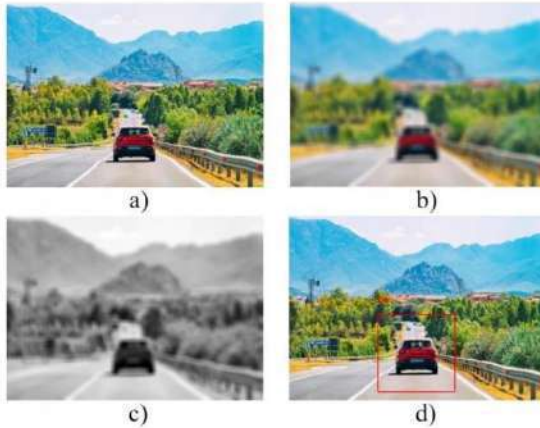


Fig. 4. Stages of car recognition in a photo: a) Reading a frame from a video stream b) Image blurring and noise reduction c) Converting the image to black and white d) Detected car

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.

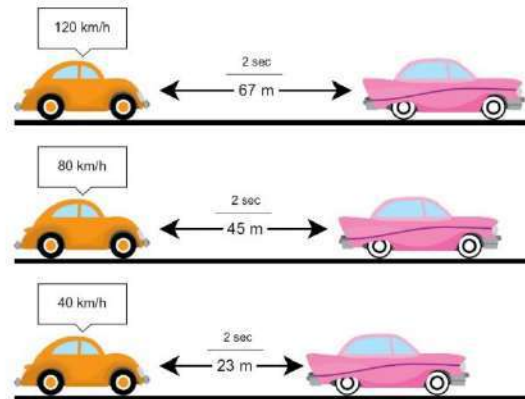


Fig. 5. Approximate distance between cars according to traffic rules

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://ingo.kiev.ua/post/kxgvnta5x1-strashna-statistika-avari>.
- [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. Opendatabot (accessed July 28, 2023) URL: <https://suspilne.media/461735-kilkist-dtp-v-ukraini-zrostae-opendatabot/>.
- [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-pozitivnoyu-politsiyi-prozvituvati-1676036106.html>
- [6] J. K. Josephine Julina, T. Sree 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. Tourani, A. Shahbahrami, A. Akoushdeh, S. Khazae, 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. Koresh. 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. Qm, P. A. Heng. "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, doi: 10.1109/TITS.2018.2838132.
- [11] D. Tabernik and D. Škočaj, "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/TITS.2019.2913588.
- [12] L. C. Possatti, R. Guidolini, V. B. Cardoso, R. F. Berriel, T. M. Parxão, C. Badue, 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. Zaarane, I. Slimani, W. Al Okaisi, I. Atouf, A. Hamdoun, Distance measurement system for autonreferenceomous vehicles using stereo camera. *Array*, 2020. pp. 1-3.
- [14] G. Golcarearenjji, I. Martinez-Alpiste, 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: 10.1080/15472450.2023.2205018.
- [15] T. Hovorushchenko, O. Pavlova, and M. Kostiuk, "Method of Increasing the Security of Smart Parking System", *JCSANDM*, vol. 12, no. 03, pp. 297-314.
- [16] P. Radiuk, O. Pavlova, H. El Bouhissi, V. Avsiyevych, V. Kovalenko, Convolutional neural network for parking slots detection, 2022. pp. 1-3.
- [17] O. Pavlova, V. Kovalenko, T. Hovorushchenko, V. Avsiyevych. 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.winnerauto.ua/about/sogodennya/standartni-sistemi-bezpeki-volvo-cars-skorochuut-kilkist-strahovih-zvnen-za-rezultatami-dtp-na-28/>.
- [20] The Mercedes-Benz S-Class presents an intelligent safety concept (accessed July 16, 2023) URL: <https://mercedes-benz-ukiev.com/mercedes-benz-s-class-predstavlyaye-intelektualnu-kontseptsiyu-bezpeky-2046>.
- [21] Honda Sensing Safety Concept (accessed July 16, 2023) URL: <https://honda.ua/bezpeka-rukhu/#servis-cl-1083>.
- [22] What Is Active Protection In Your BMW? (accessed July 16, 2023) URL: <https://www.scheerers.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. Asraf, "An Enhancement in Accuracy of Vehicle Detection in Parking Areas Employing Haar-Like Features and AdaBoost Algorithm" in *Przeglad Elektrotechniczny*, 2021. vol. 97, no. 9.
- [25] A. Luo, F. An, X. Zhang, H. J. Mattausch, "A hardware-efficient recognition accelerator using Haar-like feature and SVM classifier" in *IEEE Access*, 2019. Pp. 14472-14487.

<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: binkovsky22@gmail.com
ГОЛОВАТЮК Андрій
Хмельницький національний університет
e-mail: golovatiukao@gmail.com
МЕЛЬНИЧУК Денис
Хмельницький національний університет
e-mail: deniska_melnychuk@gmail.com
ГОВОРУЩЕНКО Тетяна
Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>
e-mail: govoruschenko@gmail.com

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

У сучасному світі, де темпи розвитку технологій прискорюються, 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, спрямованих 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 включено 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 аварійних ситуацій.

Ключові слова: автоматичне виявлення порушників, комп'ютерний зір, 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, BINKOVSKIY 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.

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, зміна 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.

Зараз, 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 водіям вчасні 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 поєднанню різноманітних сенсорів, таких як радары, камери та лазерні сканери з потужними обчислювальними системами, кіберфізичні системи можуть аналізувати навколишнє середовище, виявляти потенційні загрози та надавати водіям вчасні 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 вчасно виявляти порушення. Завдяки технології взаємодії 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 системи виявлення порушень транспортних засобів можуть зменшити 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 відеоспостереження 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, переключає 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 сигналами дорожнього руху, зокрема їхню адаптацію до бездротових технологій через виявлення транспортних засобів за допомогою бездротового зв'язку. Автори описали алгоритм з використанням підходу із підкріпленням навчання для ефективного керування дорожніми сигналами в умовах обмеженого виявлення транспортних засобів. Ефективність системи вивчається при різних умовах, таких як потоки автомобілів та рівень виявлення,

показуючи 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 записує дорожній рух та застосовує genetic algorithm (GA) для виявлення порушень. Процес включає в себе віднімання 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.

Алгоритм роботи системи виявлення автомобільних порушень

Майбутня система виявлення правопорушників має взаємодіяти з іншими системами в загальній структурі запобігання аварійним ситуаціям. Так як для ідентифікації злочинців 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 медіанний фільтр, гібридна векторна машина підтримки, нейронні мережі	Бездротові технології, підкріплене 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 прибуття швидкої допомоги	Використання підкріпленого 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 розрізнити 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 водієві.

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

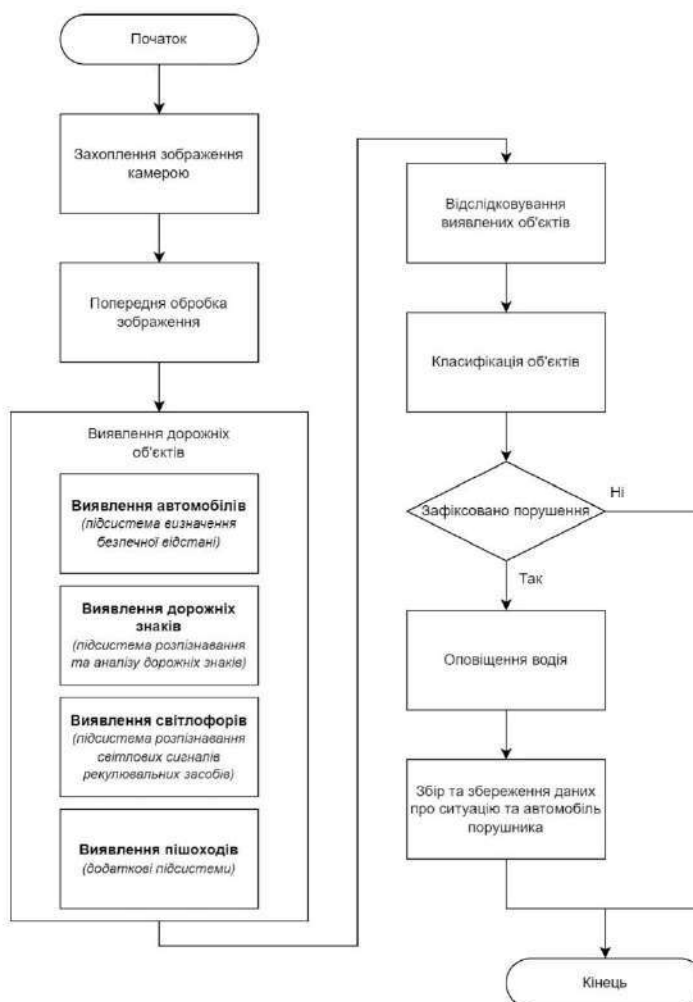


Рис. 1. Алгоритм роботи підсистеми
Комп'ютерний зір в автоматизованих системах безпеки на дорозі

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 захоплення 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

Коли зображення автомобілів ресетруються та передаються цифровими засобами, 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 роблять 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:

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

де p – це набір усіх найближчих пікселів, визначений точкою (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 зображенням, де до реального шуму додані зернистість та паперовий 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 якісною передачею кольорів. Однак, ймовірно, наявні шуми та невеликі артефакти, спричинені випадковими факторами, можуть обмежувати чіткість зображення та впливати на його загальний вигляд.



Рис. 2. Оригінальне зображення

Після введення штучної зернистості та паперового 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 поліпшення 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 виправленню впливу шумових ефектів.

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

Погодні умови та працездатність відеокамери 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 градацій 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 додавання зернистості та паперового 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.

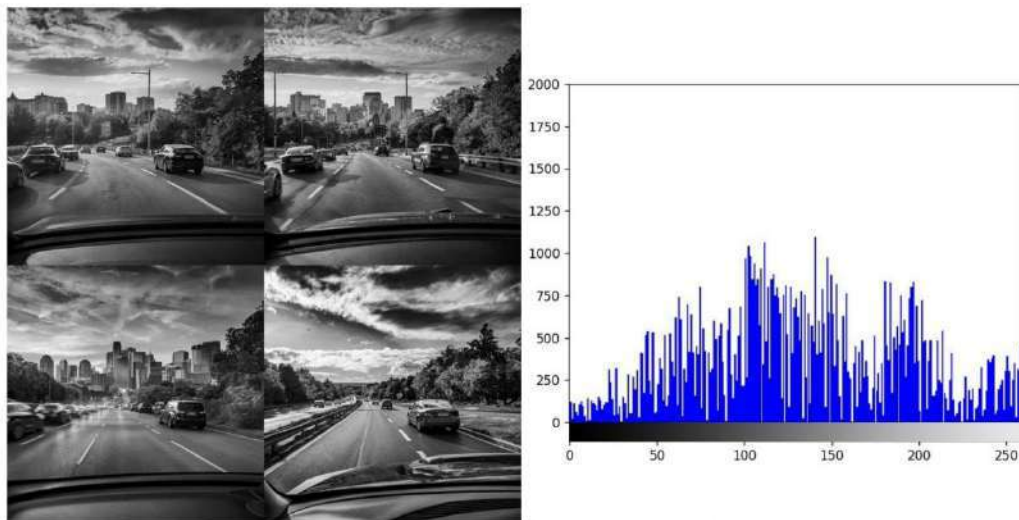


Рис. 5. Оригінальне зображення у відтінках сірого та відповідна гістограма

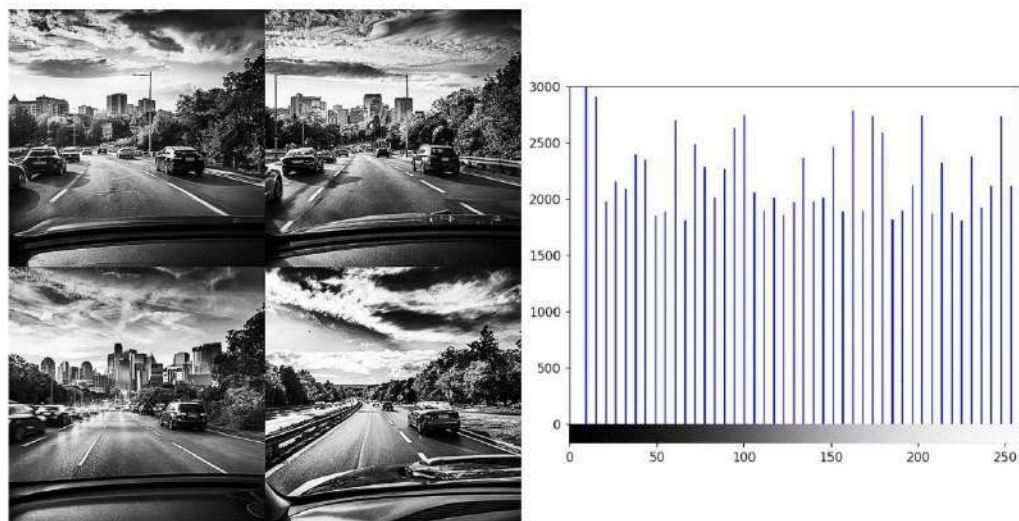


Рис. 6. Зображення та показники після вирівнювання гістограми

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 зоні 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 суцільних 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 проїжджає 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 виявляти різноманітні 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 розвиток 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 управлінців 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. Sahaoui Y. DeepDist: a deep-learning-based IoV framework for real-time objects and distance violation detection / Y. Sahaoui, C. A. Kerrache, 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. 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). IEEE. – 2023. – Pp. 1-7.
2. Y. Sahraoui, C. A. Kerrache, A. Korichi, B. Nour, A. Adnae, R. Hussain. DeepDist: a deep-learning-based IoV framework for real-time objects and distance violation detection // IEEE Internet Things Magaz. – 2021. – Vol. 33. – Pp. 30–34.
3. V.C. Maha Vishnu, 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 найактуальніших тем, оскільки автомобільні аварії щорічно призводять до тисяч травмованих та загиблих. Одним із ключових аспектів у запобіганні аварійним ситуаціям є система попередження водіїв про можливі небезпеки на дорозі. Важливо розглянути роль попереджувальних сповіщень для водіїв та їх вплив на загальний рівень безпеки на дорозі.

У цій статті розглядається важливість попереджувальних сповіщень для водіїв як одного з важливих елементів для забезпечення безпеки дорожнього руху. Нездатність своєчасно попередити водія про можливі проблеми з автомобілем та інші небезпечні ситуації може призвести до виникнення серйозних наслідків, включаючи нещасні випадки та травми.

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 підсумку досліджень можна зрозуміти, що швидкий аналіз вхідних даних від підсистем автомобіля та відображення цих даних на екрані користувачеві допоможуть уникнути небажаних ситуацій та підвищать безпеку під час використання транспортного засобу.

Метою даної статті є розкриття основних аспектів аналізу даних для підтримки автоматичного попередження водіїв та надання уявлення про те, як кіберфізичні системи можуть вдосконалювати безпеку на дорозі та зменшувати ризик виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: безпека на дорозі, аварійні ситуації, попередження водіїв, кіберфізична система, аналіз даних, автоматичне попередження, дорожній рух, попереджувальні сповіщення, технічні проблеми автомобіля, правила дорожнього руху, вхідні дані, безпека дорожнього руху, розпізнавання, небезпечні ситуації, швидкий аналіз даних, оцінка небезпеки, ризик аварій, транспортний засіб.

A. Y. BILINSKA, Y. V. BINKOVSKIY, A. O. HOLOVATIUK, 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 поєднують 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 обгін 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 потенційні 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 виправлення 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 регульовальних 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 уникали 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 ризики 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 досяжності 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, наївний метод Байеса 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 взаємодіють з великими обсягами даних і виявляються високоєфективними для багаторівневих класифікацій.	Метод наївного Байеса характеризується невисокою 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 піддаватися 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, пішоходи, велосипедисти 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.

Поєднання різних методів аналізу даних для підтримки автоматичного посередження 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 дозволяє 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. Поєднання цих методів дозволяє створити систему, яка може оперативнo реагувати на зміни на дорозі та ефективно попереджати водіїв 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, перевірка 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 дозволяє 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 водіїв 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. Один із таких параметрів - це рівень мастила. Вимірювання рівня та якості мастила в двигуні дозволяє вчасно виявляти можливі проблеми з системою змащення, що може уникнути серйозних пошкоджень двигуна.

Також важливим параметром є температура двигуна. Постійний моніторинг температури двигуна дозволяє виявляти перегрів та інші аномальні стани, що можуть призвести до пошкодження двигуна або навіть до пожежі.

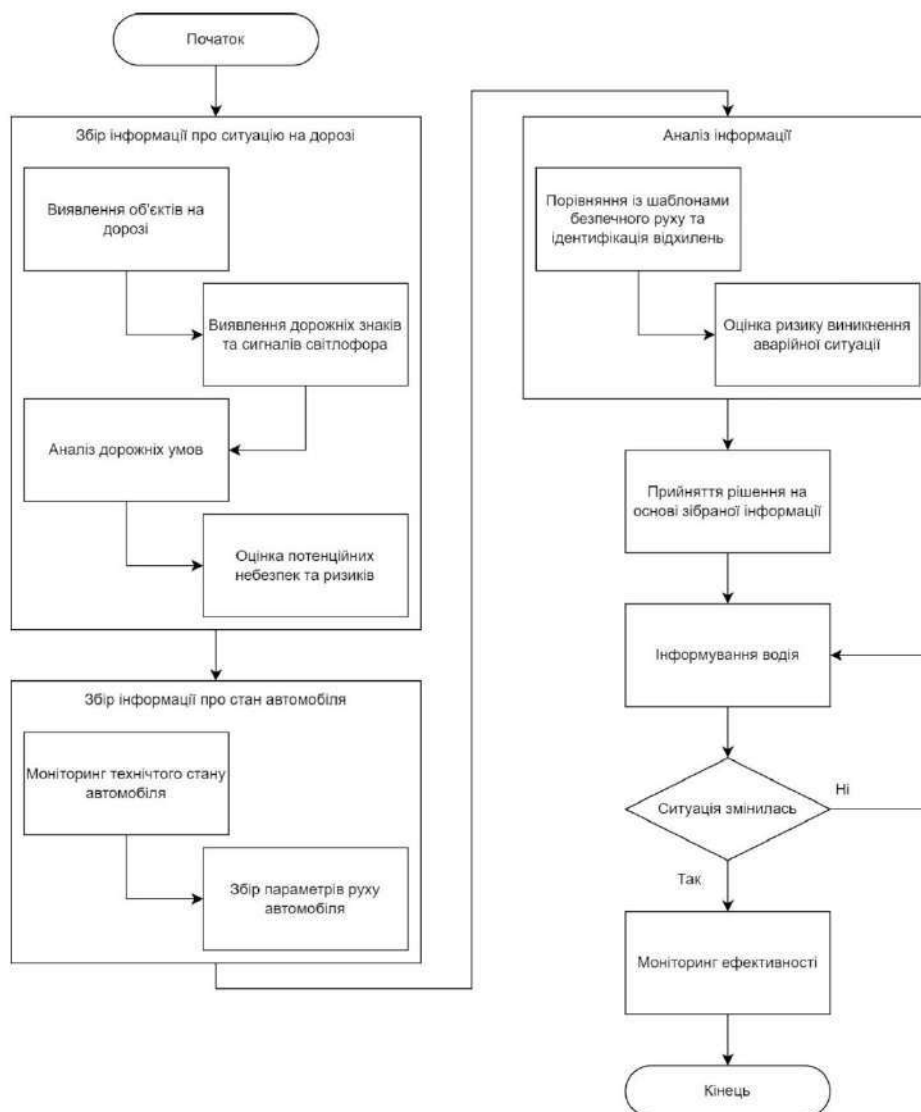


Рис. 1. Алгоритм роботи системи аналізу та оповіщення водія

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 керуваності 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 виявляти 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 виявляти 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 запису 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 виявляється 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 автомобілів, 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 водію 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. 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. 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. Binkovskiy, 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.

<https://doi.org/10.31891/csit-2023-3-4>
 UDC 004.89: 004.3

Olga PAVLOVA, Ada BILINSKA, Andrii HOLOVATIUK,
 Yaroslav BINKOVSKYI, Denys MELNYCHUK
 Khmelnytskyi 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, Денис МЕЛЬНИЧУК
 Хмельницький 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 постійних зусиллях щодо покращення безпеки дорожнього руху та зменшення частоти аварій дослідники та інженери присвятили себе розробці та впровадженню 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 мету досягнення оптимальних результатів у контролі швидкості та забезпеченні безпеки дорожнього руху. Перевищення швидкості залишається широко поширеною проблемою, яка значною мірою сприяє дорожно-транспортним пригодам. Такі інциденти призводять до травм, смертельних випадків 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 багатообіцяючим 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, перевищення 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

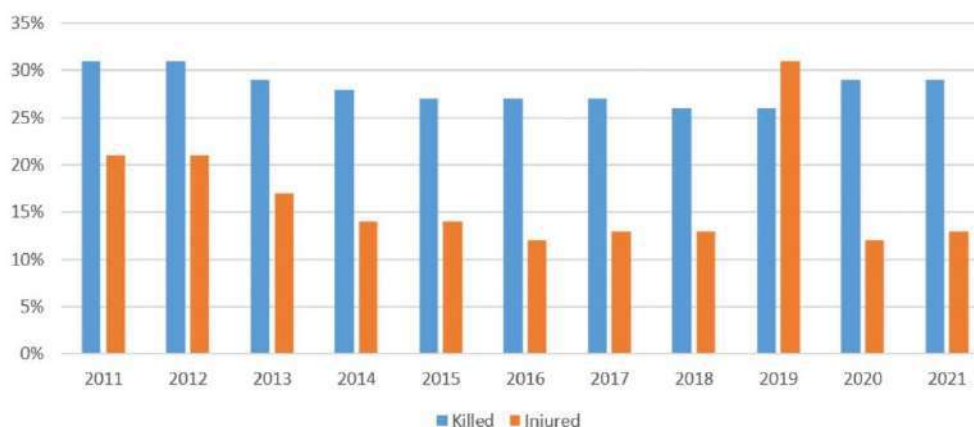


Fig. 1. Percentage representation of killed and injured people due to speeding in 2011-2021

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.

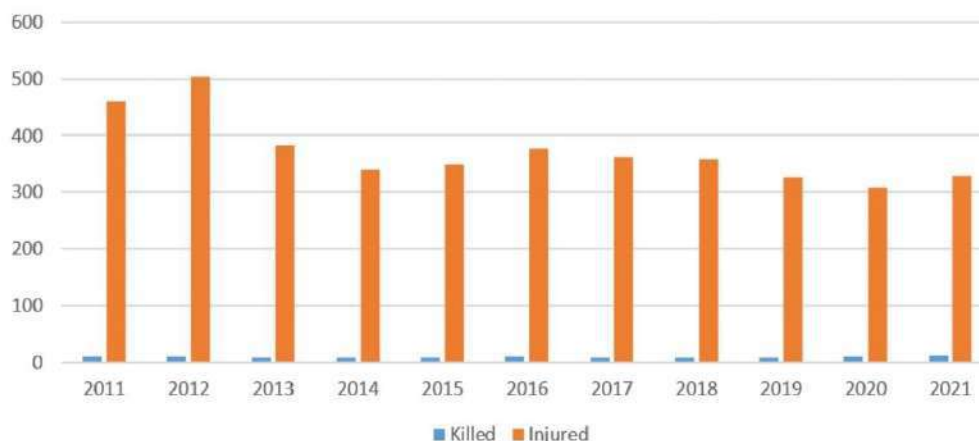


Fig.2. Quantitative representation of killed and injured people due to speeding in 2011-2021

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 Gaar 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.

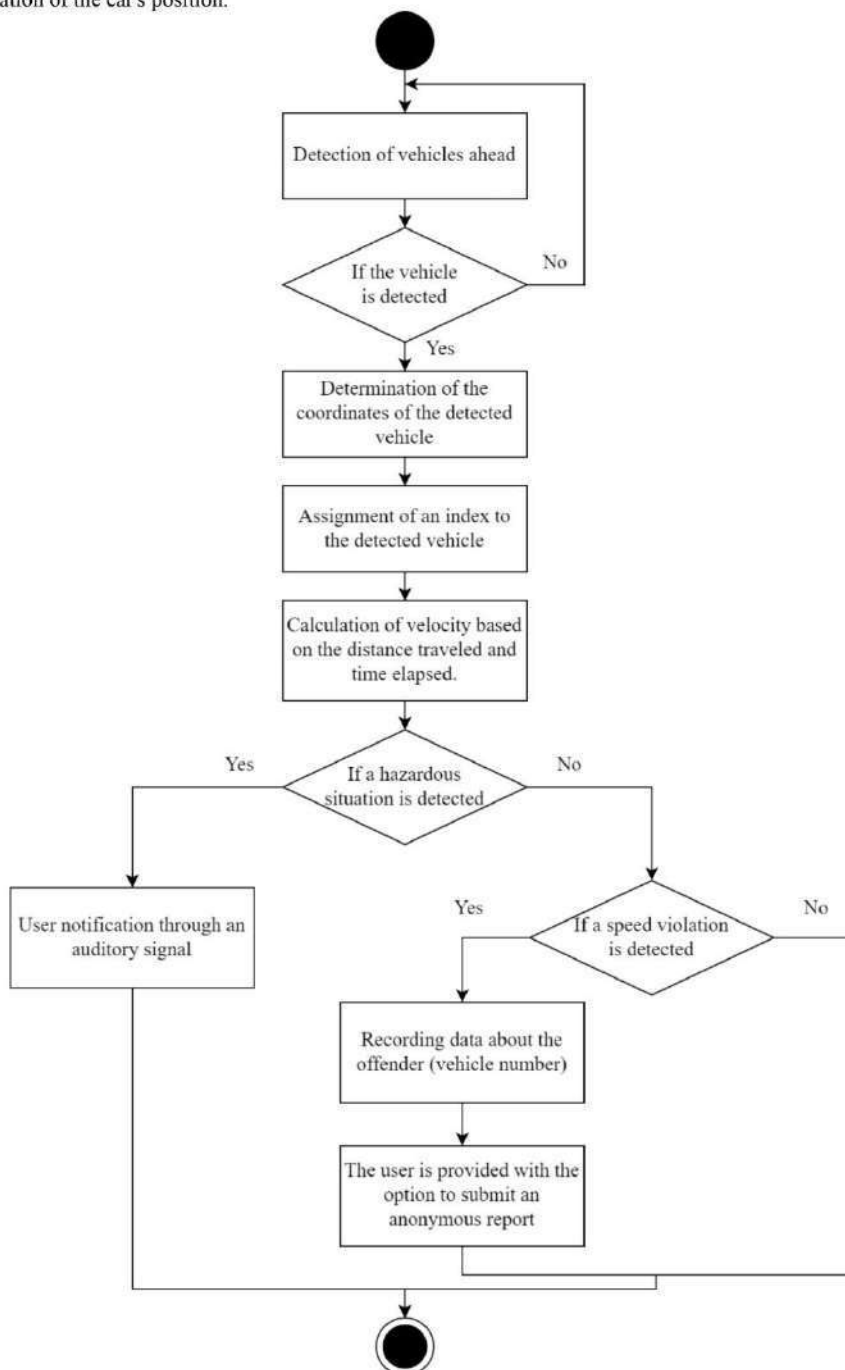


Fig.3. Graphic representation of the algorithm of the automated system for determining the speed of cars moving ahead

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.

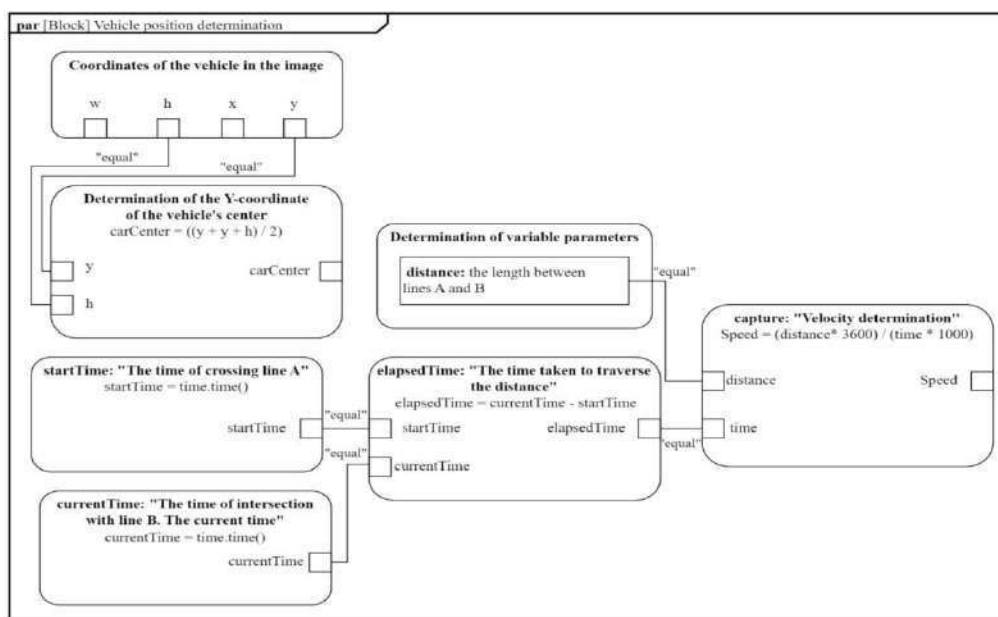


Fig.4. Parametric diagram of car speed determining

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.

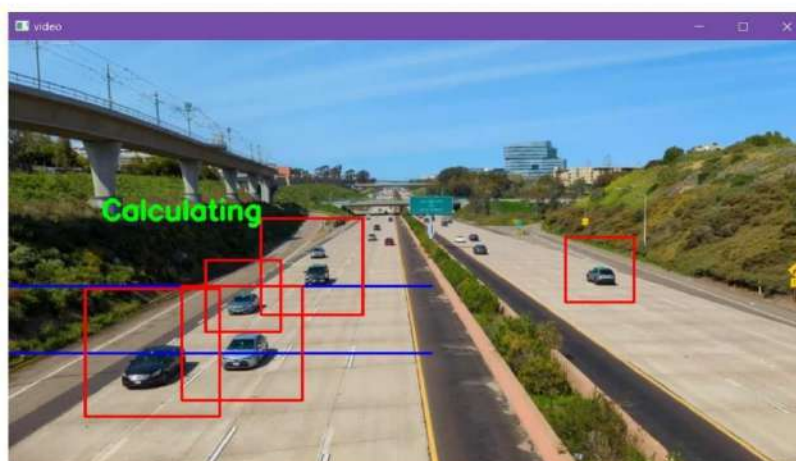


Fig.5. Cars recognition in a video frame

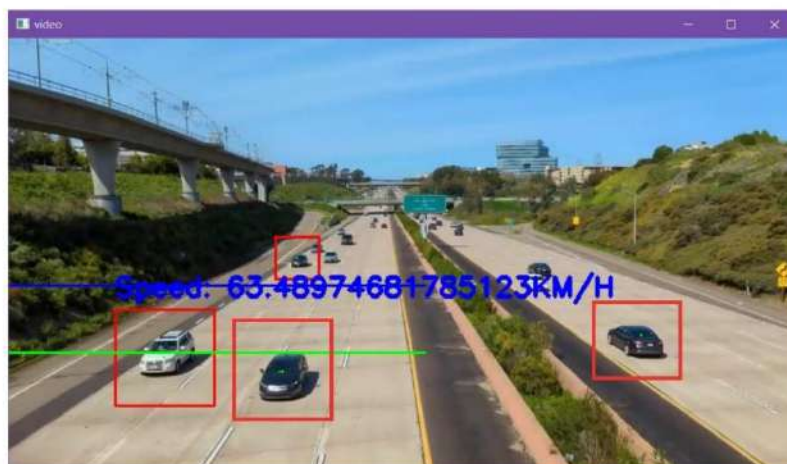


Fig.6. Crossing line B by car

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. Mouftah, M. Erol-Kantarci, S. Sorour, 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. R. 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. Страшна статистика аварій (accessed July 15, 2023) URL.: <https://ingo.kiev.ua/tpost/kxgvnta5x1-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. Rabbani, M. A. Musarat, W. S. Alaloul, S. Ayub, H. Bukhari, M. Alhaf, Road accident data collection systems in developing and developed countries: a review. International Journal of Integrated Engineering, 2022. pp. 336-352.
7. D. N. Venu, G. Rakesh, K. Maneesha, K. Anusha, S. Merugu, A. Mohammad, 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://mvs.gov.ua/uk/ministry/projekti-mvs/avtofovovideofiksciya-porusen-pdr/zapusk-sistemi-avtomatichnoi-fiksciyi-porusen-pravil-doroznyogo-ruhu-1>.
9. Shift the way you drive. DashcamUA (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.mobiem.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. Kostiuk, "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: olya1607pavlova@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 Holovatiuk Андрій Головатюк	Student of Computer Engineering & Information Systems Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine, e-mail: golovatiukao@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: binkovsky22@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.

ДОДАТОК В (обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

- Виконав: студент II курсу, групи К12м-22-1
Біньковський Ярослав Васильович
- Керівник: доктор технічних наук, професор
Говорущенко Тетяна Олександрівна



Завдання кваліфікаційної роботи

Об'єктом дослідження є кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод, а саме її підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху.

Предметом дослідження є методи машинного навчання для розпізнавання світлофорів на зображеннях, відео та безпосередньо з камери.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка ефективної системи розпізнавання світлофорів на дорогах з метою підвищення безпеки на дорогах.

Для розв'язання поставленої задачі використано методи дослідження машинного навчання, комп'ютерного зору, обробки зображень та аналізу даних, а також метод тестування на основі симуляції.

Офіційна статистика

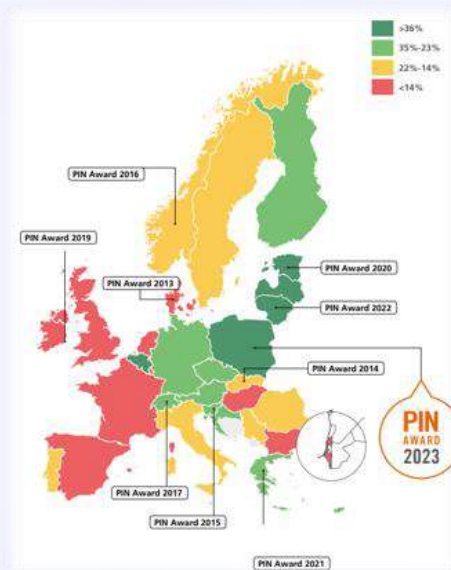
Перед розробкою системи було проведено аналіз дорожньо-транспортних пригод (ДТП), а саме причини виникнення аварій.

Патрульна поліція України збрала статистику ДТП за перший квартал 2024 року в різних областях. Порівняно з аналогічним періодом минулого року спостерігається цікава динаміка зміни кількості інцидентів на дорогах. Наведена таблиця дає зрозуміти тенденції та ризики, пов'язані з дорожньою безпекою, та підштовхує розробляти ефективні заходи для її поліпшення. На жаль, є регіони, які тимчасово окуповані (вони помічені зірочкою), тому статистика них може відрізнятися з реальними даними.

Region	ДТП з загиблими та/або травмованими					
	загинуло			травмовано		
	2023	2024	%	2023	2024	%
Рівненська	20	34	70,0	161	173	7,5
*Запорізька	14	20	42,9	181	187	3,3
Чернігівська	16	21	31,3	130	141	8,5
Житомирська	23	30	30,4	239	210	-12,1
Хмельницька	22	28	27,3	188	186	-1,1
Закарпатська	18	21	16,7	81	113	39,5
Івано -Франківська	22	24	9,1	286	233	-18,5
Київська	39	40	2,6	411	432	5,1
Львівська	52	52	0	506	564	11,5
Полтавська	22	22	0,0	228	205	-10,1
Чернівецька	9	9	0	119	125	5,0
Одеська	36	35	-2,8	325	362	11,4
Харківська	41	37	-9,8	383	358	-6,5
Кіровоградська	20	18	-10,0	151	181	19,9
Миколаївська	26	22	-15,4	215	234	8,8
Дніпропетровська	69	55	-20,3	483	589	21,9
Вінницька	26	20	-23,1	184	161	-12,5
Сумська	14	10	-28,6	160	142	-11,3
*Донецька	52	36	-30,8	198	201	1,5
Тернопільська	21	14	-33,3	152	138	-9,2
Київ	29	13	-55,2	455	412	-9,5
Волинська	27	16	-40,7	141	174	23,4
Черкаська	31	16	-48,4	161	171	6,2
*Херсонська	6	2	-66,7	36	48	33,3
АР Крим						
*Луганська						
Севастополь						
ЗАГАЛОМ	655	595	-9,2	5574	5740	3,0

Ситуація в Європі

Премія PIN (Премія індексу безпеки на дорогах) - це щорічна нагорода, яка вручається країнам, які входять до європейського союзу за досягнення у сфері безпеки дорожнього руху. Цей індекс створений для порівняння та оцінки результатів країн у впровадженні заходів для зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод та постраждалих на дорогах. Вона вручається країнам, які показують найкращі результати у зменшенні кількості смертельних випадків та травматизму на дорогах. Країни, що досягли значного покращення у своїх показниках безпеки на дорогах, отримують визнання за свої зусилля та стимул до подальшого розвитку в цьому напрямку.



Апаратна складова системи

Камери

Захоплюють відеопотік для аналізу сигналів світлофора.



Процесорна система

Обробляє відеопотік та розпізнає сигнали світлофорів.



Датчики

Опціональна можливість збору та виводу різних корисних даних для водія.



Вивід інформації

Передає дані про сигнали світлофора в автомобіль.



Принцип розпізнавання світлофору

- 1 **Захоплення зображення**
Система отримує відеоданні з камери та виділяє кадр.
- 2 **Обробка фото для аналізу**
Сам кадр переводиться в простір кольорів HSV для розпізнавання.
- 3 **Процес розпізнавання сигналу**
Накладаються порогові маски та пошук круглих областей.
- 4 **Позначення та виведення**
Обводяться знайдені області та виводяться на дисплей

Алгоритми розпізнавання сигналів

1 Аналіз кольору

Визначення кольорів світлофорних ліхтарів за відтінками.

Traffic light color: Green 0.93



2 Виявлення форми

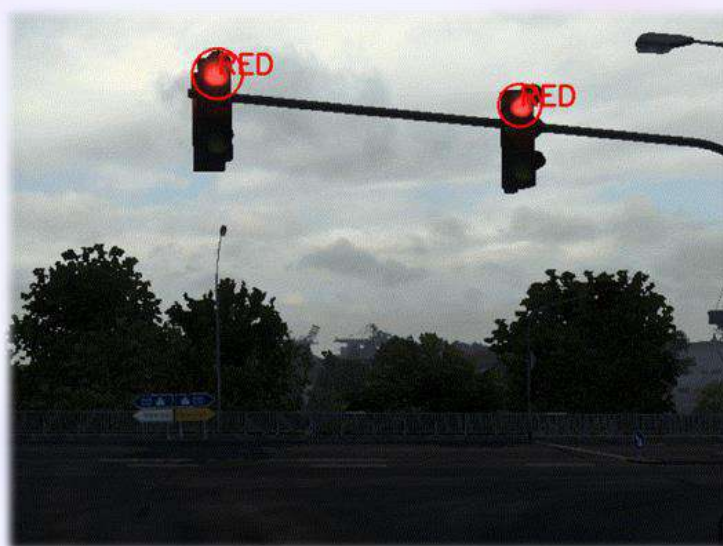
Ідентифікація геометричних форм сигналу світлофора на відео.



3 Аналіз послідовності

Поєднання методів для надійнішого розпізнавання сигналів.

Результат роботи системи



Приклад розпізнавання під час погодніх явищ



Опубліковані статті

1. Hovorushchenko T., Pavlova O., Binkovsky Y., Bilinska A., Holovatiuk A., & Melnychuk D. (2023, October). Road Accident Prevention System. In 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT) (pp. 1-7). IEEE.
2. 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. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1. С. 176-185.
3. . А. Білінська, Я. Біньковський, 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.
4. Павлова О., Білінська А., Головатюк А., Біньковський Я., & Мельничук Д. (2023). AUTOMATED SYSTEM FOR DETERMINING SPEED OF CARS AHEAD. Computer systems and information technologies, (3), 329

Висновки

Метою кваліфікаційної роботи магістра була розробка кіберфізичної системи попередження дорожньо-транспортних пригод, а саме підсистеми розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Ретельно проаналізовано компоненти, що становлять основу цієї системи, включаючи камеру для Raspberry Pi, LCD дисплей та мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3B+.

Для тестування системи розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху було заплановано та реалізовано три основні типи тестування, кожен з яких мав свою унікальну специфіку.

Перший етап тестування передбачав аналіз статичних зображень, що дозволяло оцінити здатність системи розпізнавати світлові сигнали на фотографіях без руху транспортних засобів.

Другий етап, у свою чергу, включав тестування на основі відеоданих, де система була випробувана на реальних відеозаписах дорожнього руху. Під час цього етапу було виявлено певні недоліки в роботі системи, які потребували подальшої оптимізації.

У заключному етапі тестування було проведено перевірку вже модифікованої моделі визначення кольорів світлофора в середовищі симуляції, використовуючи гру Euro Truck Simulator 2".Цей етап дозволив оцінити ефективність нового методу розпізнавання сигналів світлофорів в умовах, які наближаються до реальних, що також сприяло покращенню оптимізації роботи системи.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1016237519

Дата перевірки:
08.05.2024 19:24:00 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
08.05.2024 19:55:35 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Більковський_Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підс..

Кількість сторінок: 95 Кількість слів: 17013 Кількість символів: 129587 Розмір файлу: 9.28 MB ID файлу: 1016019413

12.9% Схожість

Найбільша схожість: 1.97% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015980763)

11.1% Джерела з Інтернету

918

Сторінка 97

2.08% Джерела з Бібліотеки

46

Сторінка 108

0.12% Цитат

Цитати

2

Сторінка 109

Посилання

1

Сторінка 109

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи

48

Anti-Plagiarism v-15.257**Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%**

ID: 125880 Назва: МКР Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху Додано в БД: 2024-05-08 Автора: Біньковський Я.В. Керівники: Говорущенко Т.О. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	111708	869	2665 (2%)	22 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Біньковський Ярослав Васильович

Тема: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод.
Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 140

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є попередження дорожньо-транспортних пригод шляхом розроблення підсистеми розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху.

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: Проведено огляд різних методів виявлення та розпізнавання світлофорів для автономних транспортних засобів. Кожен метод має свої переваги та недоліки, які потрібно враховувати при виборі оптимального рішення для конкретної системи. Зокрема, методи, що використовують глибокі згорткові мережі (CNN), забезпечують високу точність, але можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів. З іншого боку, методи, що базуються на аналізі кольору та машинному навчанні, можуть бути менш вимогливими до обчислювальних ресурсів, але більш чутливими до змін освітлення та кольору. Враховуючи специфіку конкретного застосування та наявні обмеження, вибір оптимального методу розпізнавання світлофорів для автономних транспортних засобів потребує уважного аналізу та експериментів.

Проведено огляд та порівняльний аналіз потенційних апаратних платформ для реалізації системи розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху. Було виявлено, що Raspberry Pi 3 є оптимальним вибором для даної системи, забезпечуючи потрібну потужність обчислень, стабільну роботу та гнучкість налаштування під конкретні вимоги проекту. Тому використання

Raspberry Pi 3 у системі розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху є обґрунтованим та перспективним рішенням, яке забезпечить ефективне функціонування системи та забезпечить безпеку учасників дорожнього руху.

В результаті дослідження та порівняльного аналізу було вирішено надати перевагу моделі кольорової сегментації на основі простору кольорів HSV для розпізнавання світлофорів у системі контролю дорожнього руху. Ця модель демонструє високу ефективність при обмежених обчислювальних ресурсах, забезпечуючи при цьому достатню точність розпізнавання кольорів світлофорів. Крім того, вона має низьку обчислювальну складність, що дозволяє зберігати швидкодію пристрою та знижує витрати енергії. Це робить її ідеальним вибором для вбудованих систем контролю дорожнього руху, де швидкість реакції та ефективне використання обчислювальних ресурсів є важливими факторами. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне та ефективне функціонування системи у різних умовах дорожнього середовища, забезпечуючи безпеку та комфорт учасників дорожнього руху.

4. Позитивні сторони роботи: отримання 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) Бармак О.В.

д.т.н., проф., зав. каф. КИ

“ ” _____ 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Біньковського Ярослава Васильовича

ГІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-1

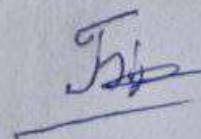
ЗАЯВА

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.

25 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, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система попередження дорожньо-транспортних пригод. Підсистема розпізнавання світлових сигналів регулювальних засобів дорожнього руху.

Автор: Біньковський Ярослав Васильович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Говорушенко Т. О., 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:

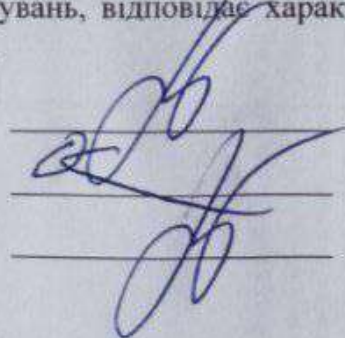
- 1) запозичення, розміщені в вступі та висновку роботи, стосуються спільних опублікованих статей, будучи співавтором. Тому такі запозичення у вигляді списку статей не можуть розглядатися як порушення кодексу доброчесності;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту, а саме заміна символів, відносяться до комбінування латинських символів зі англійськомовними позначеннями в математичних формулах, що не є модифікацією тексту

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості Unicheck, складає 12.9% і адресується до 962 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



Т. О. Говорушенко

О. С. Савенко

Т. О. Говорушенко