

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля»

КвРКІП. 170348.21.01.21 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-21-1

Керівник кандидат техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, вчене звання

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

11 05 2023 р.

П.О.А.ш  
Підпис

Парніцький О.А.  
Ініціали, прізвище

Нічепорук А.О.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2023

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2022 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Парницький Олег Анатолійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля

Керівник проекту (роботи) Нічепорук А.О., к.т.н., доцент

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

Затверджена наказом ректора університету від 09.01.2023 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2023 р.

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

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

Принципи функціонування адаптивного круїз контролю та аналіз відомих й засобів вибору цілей

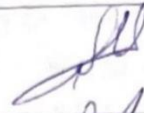



Архітектура системи адаптивного круїз контролю принципам

Метод визначення цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля

Програмно-технічний засіб адаптивного круїз контролю та результати експериментів

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 приймає
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

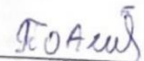
7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2022р.

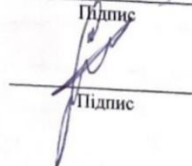
**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Прогноз виконання
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	05.09.2022	ВИКО
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2022	ВИКО
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2022	ВИКО
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2022	ВИКО
5	Робота над науковою статтею	05.01.2023	ВИКО
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	ВИКО
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2023	ВИКО
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2023	ВИКО
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2023	ВИКО
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 10.05.2023	

Студент

Керівник роботи

  
Підпис

  
Підпис

О.А Парницький  
Ініціали, прізвище

А.О Нічепорук  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля

Автор роботи: Парніцький Олег Анатолійович

Керівник роботи: Нічепорук Андрій Олександрович

Пояснювальна записка: 81 с., 44 рис., 11 табл., 2 дод., 80 джерел.

Адаптивний круїз контроль автомобіля, метод визначення цілі для адаптивного круїз контролю, машинне навчання, довга короткочасна пам'ять, рекурентна нейронна мережа.

Об'єктом дослідження є адаптивний круїз контроль автомобіля.

Предметом дослідження є методи та засоби вибору цілей для адаптивного круїз контролю автомобіля.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення комфорту та безпеки руху керування автомобілем шляхом вибору оптимальної цілі у системі адаптивного круїз контролю.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні методу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля, який відрізняється від відомих способом опрацювання даних, що представлені у вигляді часових рядів, що дозволило підвищити ефективність вибору цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблено метод для системи адаптивного круїз контролю, який на основі машинного навчання визначає основну ціль для адаптивного контролю. За допомогою опрацювання даних на основі часових рядів було досягнуто підвищення ефективності вибору цілі для адаптивного круїз контролю.

Набув подальшого розвитку метод визначення цілі для адаптивного круїз контролю, який відрізняється від відомих методів тим, що використовує за основу машинне навчання, і обробляє дані за допомогою часових рядів, що дозволило

підвищити ефективність, зокрема час реакції системи на зміну ситуації, що дозволило покращити комфорт та безпеку руху.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення теорії множин, графів, методів математичного моделювання.

На основі проведених досліджень розроблений приклад системи адаптивного круїз контролю, який використовує запропонований модуль у контролері верхнього рівня.

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності системи адаптивного круїз контролю, підвищення швидкості реакції системи на зміну навколишньої ситуації, що дозволить покращити комфорт та безпеку руху автомобіля.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>1 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ Й ЗАСОБІВ ВИБОРУ ЦІЛЕЙ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Концепція системи адаптивного круїз контролю .....	9
1.2 Огляд існуючих рішень.....	10
1.3 Сенсори системи адаптивного круїз контролю.....	13
1.4 Контролер верхнього рівня.....	16
1.5 Контролер нижнього рівня .....	18
1.6 Висновок.....	25
<b>2 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ.....</b>	<b>26</b>
2.1 Архітектура адаптивного круїз контролю .....	26
2.2 Контролер верхнього рівня.....	26
2.2.1 PID-контролер.....	27
2.2.3 Управління ковзним режимом .....	32
2.2.4 Лінійний квадратичний регулятор.....	33
2.2.5 Модель прогнозованого контролю .....	34
2.2.6 Нечітке управління.....	37
2.2.7 Алгоритми стохастичної оптимізації. ....	37
2.3 Контролер нижнього рівня .....	38
2.4 Висновок.....	43
<b>3 МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛІ ДЛЯ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ АВТОМОБІЛЯ.....</b>	<b>44</b>
3.1 Основи методу визначення цілі адаптивного круїз контролю на основі машинного навчання.....	44

3.2	Обробка даних.....	44
3.3	Інтелектуальна обробка даних та модель транспортних засобів.....	51
3.4	Виявлення пріоритетної цілі.....	56
3.5	Висновки.....	62
<b>4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....</b>		<b>64</b>
4.1	Структура системи адаптивного круїз контролю .....	64
4.2	Інтеграція програмного-технічного засобу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля систему автомобіля. ....	66
4.3	Моделювання роботи програмно-технічного засобу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля.....	69
4.4	Симуляція роботи запропонованої системи адаптивного круїз контролю. 77	
4.5	Висновок.....	87
<b>ВИСНОВКИ .....</b>		<b>88</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>		<b>90</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>		<b>98</b>

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АКК – адаптивний круїз контроль.

SMC – система управління ковзним режимом.

ADAS – система допомоги водію.

MPC – модель прогнозованого контролю.

RNN – рекурентна нейронна мережа.

LSTM – довга короткочасна пам'ять.

## ВСТУП

У сучасних реаліях автомобіль є невід'ємною частиною життя людини. В середньому людина проводить за кермом щонайменше декілька годин на добу, тому і не дивно що кожного дня стається близько 500 дорожньо-транспортних пригод. Тому звичною ситуацією стало те, що науковці зосередилися на технологіях, які дозволять покращити безпеку руху. Тільки за останні декілька десятиліть безпека транспортних засобів сягнула великого прориву. Різноманітні системи, обладнання все це з кожним роком розвивається, і зараз вже важко уявити сучасний автомобіль без десятка подушок безпеки, чи без системи стабілізації авто, яка запобігає заносам. Все це забезпечує безпеку при самій небезпечній ситуації, але цього не достатньо, потрібно саме уникати і зменшувати кількість аварійних ситуацій. Саме тому науковці досліджують причини небезпечних дорожніх ситуацій. Після значної кількості досліджень, було виявлено, що людський фактор є основною причиною аварійних ситуацій, і щоб покращити безпеку руху не достатньо удосконалити будову автомобіля. В ході дослідів було виявлено, що основною проблемою є втома, і втрата концентрації. Коли водій керує транспортним засобом, йому слід аналізувати значну кількість інформації, швидкість руху, відстань до автомобіля, поведінку сусідніх транспортних засобів, погодні умови, якість дорожнього покриття та інше, все це динамічно змінюється і водієві потрібно весь час обробляти цю чималу кількість інформації. Всі ці умови зумовлюють втому водія, що в свою чергу приводить до втрати концентрації, що є дуже важливим, особливо при щільному русі автомобілів, або якщо це досить тривала поїздка. Тому науковці зосередилися на тому, щоб автоматизувати деякі дії водія, в результаті чого з'явилися такі системи як контроль смуги руху, круїз контроль, адаптивний круїз контроль, всі ці системи спрощують керування автомобілем, автоматизуючи певні дії водія.

Актуальність роботи полягає в розробці системи адаптивного круїз контролю, що дозволяє виявляти основну ціль, контролювати відстань до неї, керувати швидкістю автомобіля, регулювати її в залежності від ситуації.

Метою дипломної роботи є розробка методу визначення цілі для адаптивного круїз контролю, що одним з основного функціоналу цієї системи. Від цього функціоналу залежить робота усієї системи, оскільки якщо будуть неточності у визначенні основної цілі дистанція та швидкість будуть визначатися не правильно, що може призвести до аварійної ситуації.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- необхідно розробити виявлення основної цілі для адаптивного круїз контролю;
- метод повинен визначати основну ціль, обраховувати її швидкість та відстань до цієї цілі;
- метод повинен формувати результат, та надсилати його у подальші модулі системи для зміни швидкості автомобіля.

Об'єктом дослідження є Адаптивний круїз контролю автомобіля

Предметом дослідження є методи та засоби вибору цілей для адаптивного круїз контролю автомобіля.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні методу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля, який відрізняється від відомих способом опрацювання даних, що представлені у вигляді часових рядів, що дозволило підвищити ефективність вибору цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблено метод для системи адаптивного круїз контролю, який на основі машинного навчання визначає основну ціль для адаптивного контролю. За допомогою опрацювання даних на основі часових рядів було досягнуто підвищення ефективності вибору цілі для адаптивного круїз контролю.

Набув подальшого розвитку метод визначення цілі для адаптивного круїз контролю, який відрізняється від відомих методів тим, що використовує за основу машинне навчання, і обробляє дані за допомогою часових рядів, що дозволило

підвищити ефективність, зокрема час реакції системи на зміну ситуації, що дозволило покращити комфорт та безпеку руху.

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення теорії множин, графів, методів математичного моделювання.

За темою дипломної роботи опублікована одна стаття " MitM кібератаки на локально-керуючий рівень кіберфізичної системи розумних мереж енергозабезпечення: визначення доменної області та поведінка системи".

# 1 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ Й ЗАСОБІВ ВИБОРУ ЦІЛЕЙ

## 1.1 Концепція системи адаптивного круїз контролю

Системи допомоги водію (ADAS) – це будь яка система поєднань електронних технологій, які дозволяють спростити водію певні функції, наприклад паркування, чи контроль швидкості. Основною задачею цих систем є забезпечення безпеки руху автомобіля, зменшуючи навантаження на водія, автоматизуючи деякі часто повторювані речі. Вперше ADAS почали використовуватися в 1970-х роках, першими видами цих системи були антиблокувальні системи гальм. З роками з'являлися все більш досконаліші системи, і з цим і зростала і цікавість до цих систем, все частіше науковці розпочали досліджувати цю сферу безпеки руху автомобіля. Так в 1986 році в кілька європейських виробників автомобілів започаткували ініціативу «Prometheus».

Під сумісництвом цієї організації було розроблено ряд проектів, які вирішували проблеми міського руху автомобілів. Через деякий час після цього Європейський Союз розробив свою ініціативу «Drive» яка мала забезпечувати безпеку дорожнього руху в європейських країнах, і результатами цієї структури було вирішення як базових проблем так і глобальних. Прикладом цього є система GIDS, це один з найбільших проектів Drive який був розроблений в 1993 році, і на той час був досить революційним, і залишається актуальним і до тепер.

На сьогоднішній момент існує безліч систем допомоги водію, від дрібних деталей, які водії навіть не помічають у повсякденному використанні, так і до глобальних які виконують величезний обсяг роботи. Такою системою є адаптивний круїз контроль автомобіля.

Адаптивний круїз контроль автомобіля – це система, яка відслідковує навколишні транспортні засоби, здатна контролювати відстань до цих транспортних засобів, і в залежності від зміни цієї відстані може регулювати швидкість автомобіля. Адаптивний круїз контролю є покращеною версією

звичайного круїз контролю, який мав змогу тільки тримати швидкість на певному значенні. В свою чергу адаптивний круїз контролю має набагато більше функцій та можливостей. Основними функціями адаптивного круїз контролю є контроль швидкості, ця система здатна тримати швидкість автомобіля на заданому значенні, додатково до цього вона може зменшувати її в залежності від дорожньої ситуації, також важливою функцією є відстеження відстані від сусідніх транспортних засобів. Адаптивний круїз контроль має здатність вираховувати відстань до сусіднього транспортного засобу, і попереджати водія, якщо ця відстань стає критично малою. І також не менш важливою функцією, яка об'єднує перші дві, це визначення основної цілі. Особливістю цієї функції є те, що адаптивний круїз контроль має змогу визначити найбільш підходящий, для даної дорожньої ситуації, транспортний засіб, та рухатися відносно нього, тримаючи безпечну відстань, та швидкість автомобіля. Це дозволяє уникнути багатьох дорожніх ситуацій, і добре впливає на навколишнє середовище, оскільки адаптивний круїз контроль тримає стабільну швидкість, що дозволяє скоротити викид вихлопних газів в атмосферу.

## 1.2 Огляд існуючих рішень

На сьогоднішній день більшість досліджень з розробки систем адаптивного круїз контролю зосередилися на розробці для електромобілів, та гібридних транспортних засобів. Це зумовлено тим, що це є два найбільш популярні види легкових автомобілів. Більшість систем адаптивного круїз контролю для електричних та гібридних автомобілів є ієрархічними, що означає що вони мають контролери верхнього та нижнього рівнів. Однак слід зауважити що в електромобілях система гальм і трансмісії відрізняється від звичайних автомобілів, тому і системи адаптивного круїз контролю для цих автомобілів відрізняються від звичайних. Одною з важливих відмінностей є те, що під час гальмування потрібно розподіляти сили між рекуперативним та механічним гальмуванням [2].

Різні структури трансмісії та гальмівної системи спричинили появу різних стратегій керування для електричних та звичайних автомобілів. Наприклад гальмування, в звичайних автомобілях доступне лише механічне гальмування, в електричних ж присутнє гальмування двох видів, механічне та рекуперативне. Рекуперативне гальмування виконується за допомогою генераторного гальма двигуна, і дозволяє під час гальмування заряджати акумулятори автомобіля. Тому в системах адаптивного круїз контролю електромобілів в контролері нижнього рівня додатково потрібний модуль розподілу гальмівної сили між механічними та рекуперативними гальмами [3]. Найбільш використовувана інфраструктура систем адаптивного круїз контролю електромобілів є MPC, основною причиною чим це зумовлено є те що MPC інфраструктура дозволяє одночасно балансувати між різними основними цілями. Так було запропоновано контролер MPC, який корегував функції вартості та модель прогнозування в кожний час вибірки відповідно до стану руху [4]. Результати розробки та використання цього контролеру показали значні результати у надійності, та адаптації до різних дорожніх ситуацій. Ще одним видом MPC контролера є нелінійний MPC контролер. Експерименти з цим контролером показали, що він може забезпечувати поведінку найбільш наближену до людської, та дуже високу енергоефективність. Однак для цього нелінійний MPC контролер вимагає більшої обчислювальної потужності. Оскільки в електромобілях застосовується ряд додаткових систем які потрібно відслідковувати, наприклад заряд акумулятора, то системи адаптивного круїз контролю для цих автомобілів використовують додаткові методи оптимізації, наприклад оптимізація роєм частинок. Контролери MPC широко досліджуються в рамках систем адаптивного круїз контролю для електромобілів, і на їх базі додається новий функціонал найбільш підходящий для електромобілів. Наприклад новітні системи адаптивного круїз контролю, під час наближення до перехрестя, враховують стан світлофору, щоб найкраще розрахувати швидкість автомобіля, і досягти найбільшого значення економії заряду акумулятора. У сценарії спуску з схилу системи використовують алгоритм найменших квадратів, щоб визначити нахил дороги і таким чином автомобіль має

змогу підтримувати оптимальну швидкість і в ту ж мить заряджати акумулятор під час спуску з схилу [5].

Якщо розглядати зміни в контролері нижнього рівня, то основною відмінністю є алгоритм розподілу гальмівної сили. Основна мета цього алгоритму є забезпечення регенерації якомога більшої кількості енергії в умовах безпеки та комфорту руху. Такі методи, як генетичний алгоритм, нечітке керування та ітераційне навчання, найчастіше застосовуються для побудови алгоритму розподілу гальмівної сили [6].

Системи адаптивного круїз контролю для гібридних автомобілів майже нічим не відрізняються від звичайних. В цих системах за допомогою контролера верхнього рівня обчислюється бажане прискорення, а контролер нижнього рівня обробляє і передає це значення на механічні складові автомобіля, а також відстежує значення прискорення, або уповільнення, для того щоб забезпечити найбільшу енергоефективність [7, 8]. В гібридних автомобілях подібно до електромобілів в системах адаптивного круїз контролю частіше використовується MPC контролер. Основна задача системи адаптивного круїз контролю полягає в тому, щоб за допомогою лінійного контролера MPC згенерувати бажане прискорення, і потім за допомогою спеціально розробленого контролера нижнього рівня передати це значення на механічні частини автомобіля [9, 10, 11]. На додаток до MPC контролерів в гібридних автомобілях також застосовується PID-регулятор, або багаторежимне керування. Перевагою цих додаткових методів є низьке обчислювальне навантаження [12]. Ряд досліджень показав що системи з PID-регуляторами показують кращі результати і є більш оптимізовані з точки зору визначення цілі. Також порівняння PID-регуляторів з модулями управління ковзним режимом показали, що керування ковзним режимом показує кращі результати під час переходу між гальмуванням та прискоренням [13].

Контролери нижнього рівня в гібридних автомобілях, відповідають за відстеження і управління крутним моментом двигуна, тобто прискоренням. І за допомогою системи зворотного зв'язку забезпечують найкраще значення енергоефективності [14].

### 1.3 Сенсори системи адаптивного круїз контролю

Сенсори в системі адаптивного круїз контролю виконують одну з найважливіших ролей, вони збирають інформацію про навколишню ситуацію, якщо вони допускають похибку чи збій в зборі інформації вся система стає не ефективною. Тому тип сенсору, його особливості та недоліки є дуже важливими факторами під час конструювання системи адаптивного круїз контролю. Але крім датчиків які збирають інформацію про навколишню ситуацію, також в системі присутні сенсори які збирають дані про стан автомобіля. Ці сенсори встановлюють для того щоб система адаптивного круїз контролю могла оперувати даними про стан автомобіля, це його швидкість, крутний момент двигуна та інше. Всі ці дані необхідні для того щоб система могла враховувати стан автомобіля у формуванні результату. Візуальний вигляд роботи сенсорів зображено на рисунку 1.1.

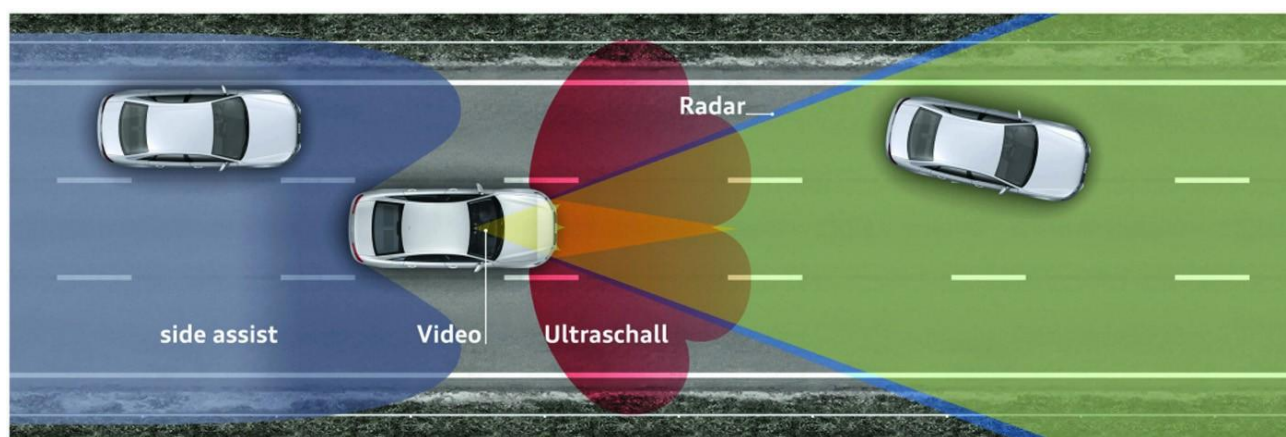


Рисунок 1.1 – Приклад роботи сенсорів системи адаптивного круїз контролю

Для збору навколишньої інформації в основному застосовуються радар, оптичні сенсори, gps системи. До оптичних сенсорів відносяться лазерні елементи, камери, фото елементи, та інше. Оптичні датчики складаються з приймача та випромінювача. Датчик надсилає сигнал який відбивається від навколишніх предметів і повертається назад до сенсори, сенсор вимірює час за

який сигнал повернувся і на основі цього формує дані про відстань до предмету. Одним з популярних таких сенсорів лідар. Лідар – це сенсор який за допомогою лазера визначає дальність до об’єкта. Одною з переваг лідару є його точність, цей сенсор достатньо швидко і якісно виявляє предмети, мова йде не тільки про автомобілі, а і навіть про велосипедистів. На рисунку 1.2 зображений результат сканування середовища за допомогою Лідара.

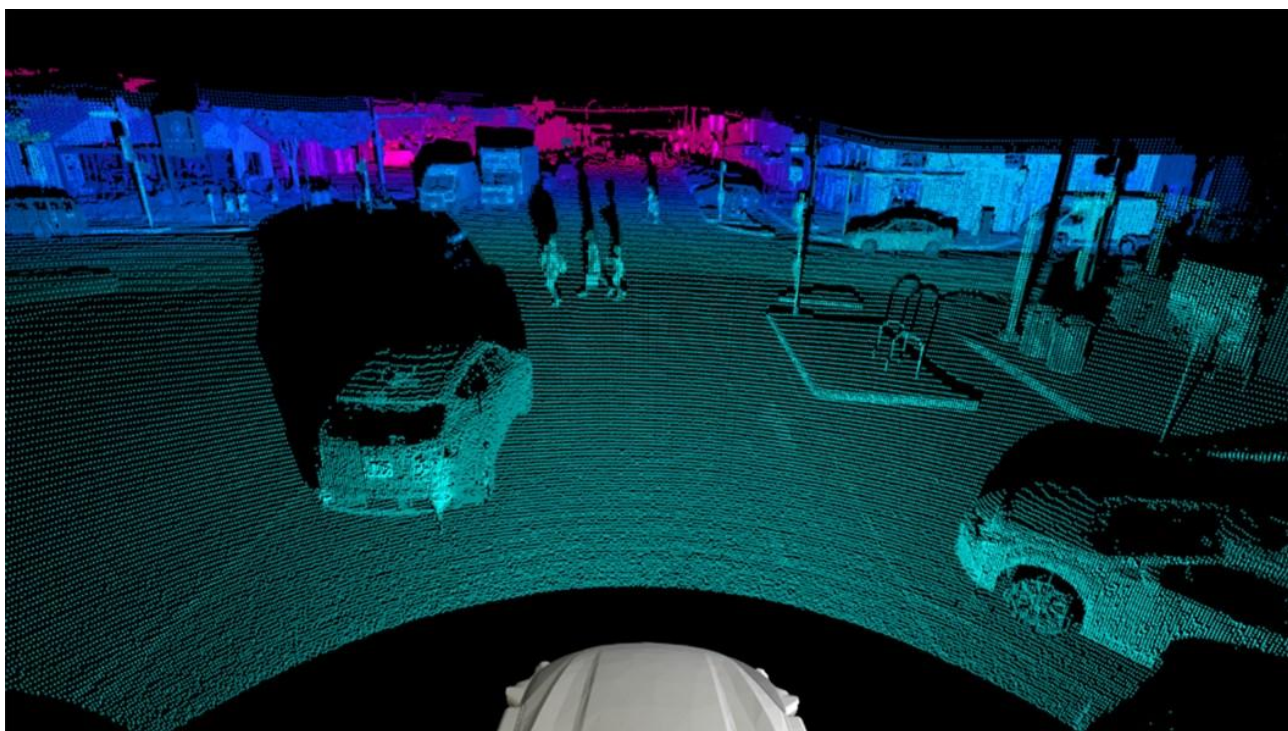


Рисунок 1.2 – Результат сканування Лідаром

Іншим доволі розповсюдженим сенсором є радар. Радар вже не є оптичним сенсором, оскільки він використовує радіохвилі для визначення відстані до об’єкту. В системах адаптивного круїз контролю зазвичай використовують частотно-модульований безперервний локатор (Frequency Modulated Continuous Wave – FMCW). В FMCW радарах передавач та приймач працюють безперервно та безперервно генерують несучу хвилю, також відому як “chirp”. Цей звуковий сигнал посилається передавачем, після чого цей сигнал відбивається від цілі і повертається назад. Зворотній сигнал приймає приймач радару, і на основі часу за який цей сигнал повернувся визначається відстань до транспортного засобу, та

швидкість з якою він рухається. Візуальний приклад роботи радара зображено на рисунку 1.3.

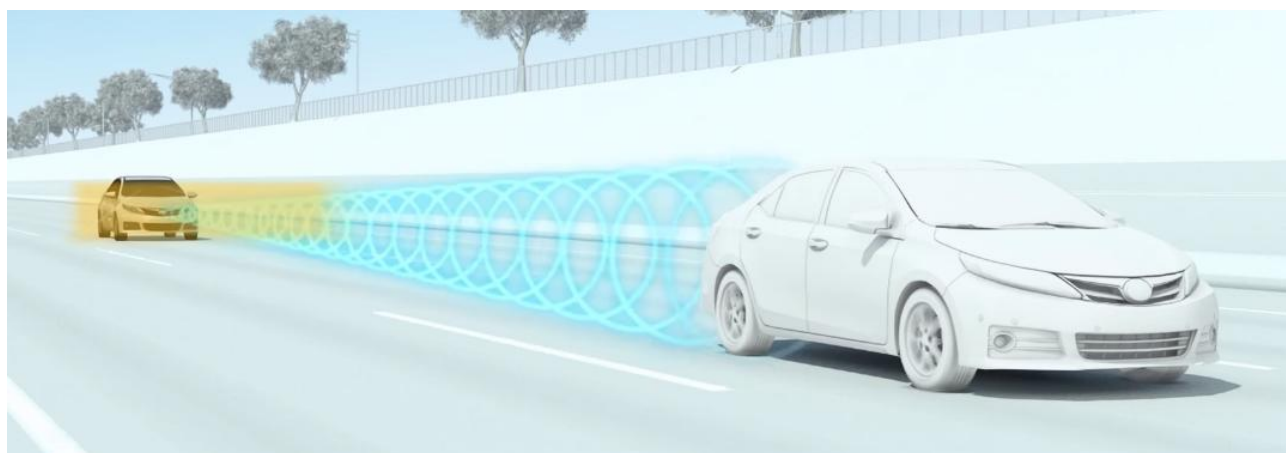


Рисунок 1.3 – Приклад роботи радару

Кожний з цих типів сенсорів, і радар і оптичні датчики мають свої переваги та недоліки. Радари вважають більш надійними оскільки вони не такі чутливі до погодних умов, оскільки вони використовують радіохвилі. Також через те що радарні сенсори здебільшого встановлюють в нижній частині бампера, де вони можуть забруднюватися оптичні сенсори в таких випадках можуть давати збої. Але зараз з розвитком цих систем оптичні датчики стають більш досконаліми і з'являються такі радари як лідар які демонструють хорошу ефективність. Розглядаючи систему адаптивного круїз контролю, то в більшості випадків використовуються обидва типи сенсорів і оптичні і радари, що збільшують ефективність системи.

Сенсори для визначення відстані, це не єдині датчики які використовуються в системі. Крім них в автомобілі встановлені ще десятки інших, наприклад сенсори контролю смуги, датчики сліпих зон, gps та інші, всі ці датчики дозволяють обробляти і аналізувати усі аспекти навколишнього середовища, та отримати повну картину навколишньої ситуації. Наприклад камера 360°, цей набір датчиків дозволяє отримати повне зображення автомобіля в реальному часі, приклад роботи цього сенсору зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Приклад роботи камери 360°

У весь цей набір сенсорів надає велику кількість інформації, і кожний сенсор виконує свою незамінну ролі в системі адаптивного круїз контролю. Без набору цих датчиків система адаптивного круїз контролю не мала б такої ефективності.

#### 1.4 Контролер верхнього рівня

Контролер верхнього рівня виконує основну роль в системі адаптивного круїз контролю, саме в цьому контролері відбувається обробка інформації, і формування результату. Контролер верхнього рівня виконує такі функції як визначення основної цілі, формування даних на основі положення, відстані, та швидкості основної цілі, які потім передаються на контролер нижнього рівня для зміни швидкості, також обробка даних про стан автомобіля для внесення корегувань в результат який формується на основі головної цілі. Саме в цьому

контролері буде знаходитися модуль який функціонує на основі запропонованого методу. Першим етапом роботи контролера верхнього рівня є нормалізація вхідних даних, на цьому етапі вхідні дані зводяться до одного вигляду, для того щоб системі було простіше їх обробляти. Після чого дані надходять в наступні модулі. Далі після нормалізації даних відбувається визначення основної цілі. Дані про навколишні транспортні засоби збирається в одному місці, порівнюються і в результаті обирається транспортний засіб для головної цілі. Цей процес вибору цілі базується на основі нейронних мереж, і дозволяє бути гнучким та підлаштовуватися під різні ситуації. Після вибору основної цілі система продовжує працювати з даними цього автомобіля. Його швидкість, відстань до автомобіля з адаптивним круїз контролем, положення на дорозі усі ці дані передаються до наступного модуля, який відповідає за формування результату, та передачу значення прискорення яке має бути в автомобіля.

Під час формування цієї оцінки система обробляє велику кількість даних, таких як теперішнє прискорення автомобіля, теперішня позиція автомобіля, дані основної цілі, загальні дані про автомобіль, все це надходить і обробляється модулем для формування значення прискорення яке має надійти до двигуна автомобіля. Також ключовим функціоналом цього модуля є обробка зворотного сигналу автомобіля.

Під час використання системи адаптивного круїз контролю можуть виникати різноманітні ситуації, які в свою чергу напряму впливають на автомобіль, наприклад якщо автомобіль рухається вгору прискорення, яке було надіслано системою адаптивного круїз контролю до автомобіля, може бути недостатнім і автомобіль може втратити швидкість що призведе до збільшення відстані між основною цілю та цим автомобілем, в таких та інших ситуаціях система адаптивного круїз контролю має підлаштовуватися під стан автомобіля і вносити корективу в значення прискорення, саме для цього і слугує цей зворотній зв'язок між автомобілем та контролером верхнього рівня.

## 1.5 Контролер нижнього рівня

Контролер нижнього рівня виконує роль передавача, і поєднує систему адаптивного круїз контролю з складовими автомобіля. Основними складовими автомобіля з якими поєднується контролер нижнього рівня є двигун, гальма, система трансмісії. Ці компоненти є основними які дозволяють регулювати швидкість автомобіля.

Двигун є основою автомобіля, саме двигун відповідає за силу яка рухає автомобіль. Найбільш розповсюдженими типами двигунів є двигуни внутрішнього згоряння та електричні двигуни, також існують гібридні двигуни які поєднуються в собі можливості електричного двигуна, та двигуна внутрішнього згоряння. Схема двигуна зображена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Двигун автомобіля

В двигуну внутрішнього згорання крутний момент акумулюється за допомогою системи циліндрів які одночасно рухаються. Рух циліндрів забезпечує мікро вибухи пальної суміші, саме через це двигун називається внутрішнього згорання. Така робота двигуна спричиняє велике навантаження, і тому двигуни мають мати міцну структуру. Сам двигун ділиться на дві частини нижню в якій знаходяться циліндри, та основні рухомі частини, та верхньої де знаходиться головка блоку циліндрів. Електричний двигун має іншу будову, на відмінну від двигуна внутрішнього згорання електричний не має блоку циліндрів оскільки йому він не потрібний.

В основі електричного двигуна лежить принцип електромагнітної індукції, цей принцип полягає в виникненні електрорушійної сили при зміні магнітного потоку. На відміну від автомобілів з звичайним двигуном електромобілі мають не один двигун, а чотири по одному на кожне колесо, тому будова таких автомобілів відрізняється.

Електричні двигуни є найбільш екологічними, саме тому останнім часом все більше конструюється двигунів саме з електричними двигунами. Також існують гібридні автомобілі які поєднують в собі двигуни внутрішнього згорання та електричні двигуни.

В запропонованій системі адаптивного круїз контролю розглядався двигун внутрішнього згорання, і якщо розглядати його у розрізі цієї системи, то на вхід він буде отримувати бажане прискорення, а на виході буде видавати значення крутного моменту яке вже буде передаватися на систему трансмісії.

Система трансмісії це складова автомобіля яка трансформує і перенаправляє крутний момент двигуна безпосередньо до коліс автомобіля. Основна задача яку виконує трансмісія це зміна значення крутного моменту який надходить від двигуна, без зміни швидкості його роботи. Зміну значення крутного моменту забезпечує набір шестерень різного розміру, схематичне зображення трансмісії зображено на рисунку 1.6.

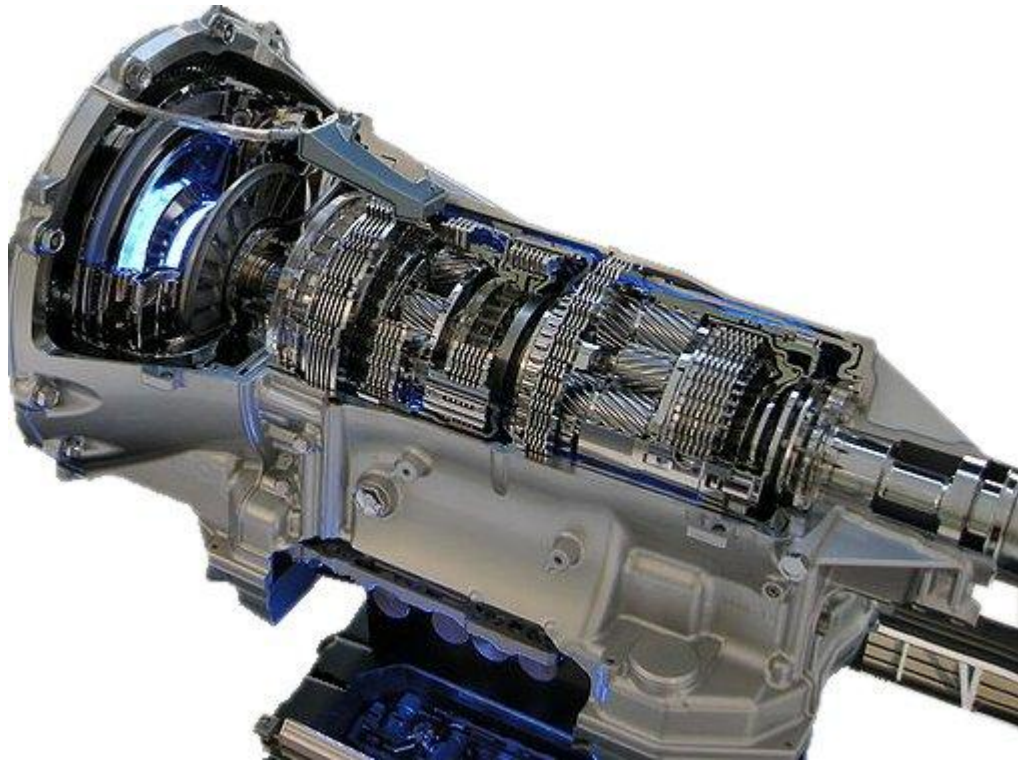


Рисунок 1.6 – Система трансмісії двигуна

Трансмісія і двигун поєднані між собою, і їх потрібно розглядати як одну загальну систему, оскільки якщо розглядати двигун без трансмісії він просто був би не ефективним. Без трансмісії двигуну б не вистачило потужності для того, щоб рухати транспортний засіб і через велике навантаження двигун би перегрівався. Також в такому випадку швидкість автомобіля була б не стабільна, і вона була б надто швидкою, або надто повільною. Система трансмісію вирішує усі ці проблеми. Системи трансмісії поділяються на два види, автоматичні та механічні. Механічні трансмісії вимагають безпосередньої участі водія, в структуру механічної трансмісії входить щеплення, перемикач передач, і сама трансмісія з набором шестерень. Щеплення відповідає за поєднання двигуна і трансмісії, і передачі крутного моменту від одного до іншого. Коробка передач відповідає за зміну активної шестерні, до якої передається крутний момент з двигуна, і яка змінює його значення. Роль водія заключається в тому, що він має самостійно за допомогою щеплення розірвати зв'язок між двигуном і трансмісією, після чого він має за допомогою коробки передач змінити активну шестерню, після чого повернути шестерню в початкове положення. Усі ці дії потребують

певних навичок, оскільки при не правильному користуванні щепленням, через різку зміну навантаження двигун може зупинитися, або трансмісія може вийти з ладу. Схема механічної коробки передач зображена на рисунку 1.7.

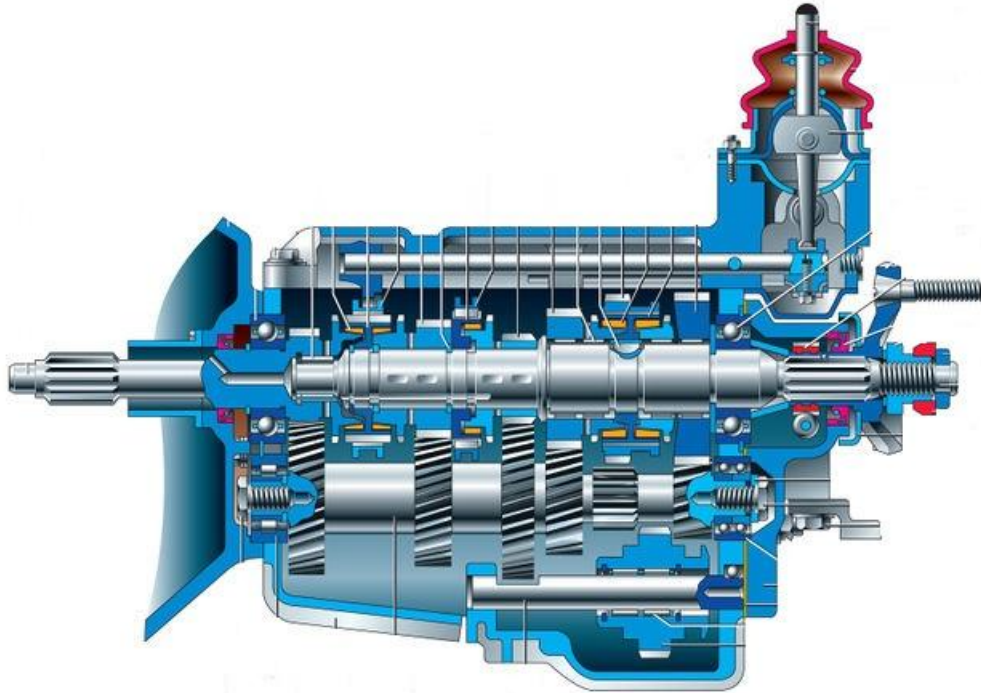


Рисунок 1.7 – Механічна трансмісія

Автоматична трансмісія за своїм принципом схожа з механічною, але на відміну від механічної автоматична не вимагає прямої взаємодії з водієм. В автоматичній трансмісії також присутній коробка перемикачів передач та щеплення, проте вона працює в автоматичному режимі. Перемикач передач забезпечує набір датчиків та сенсорів, які на основі навантаження на двигун та швидкості в автоматичному режимі підбирають найкращий момент для від'єднання щеплення і перемикачів передач, і зводять до мінімуму навантаження на трансмісію та двигун. В такому випадку водію не потрібні такі високі навички в керуванні, і дозволяє йому зосередитися на інших аспектах водіння. Схема автоматичної коробки передач зображена на рисунку 1.8.

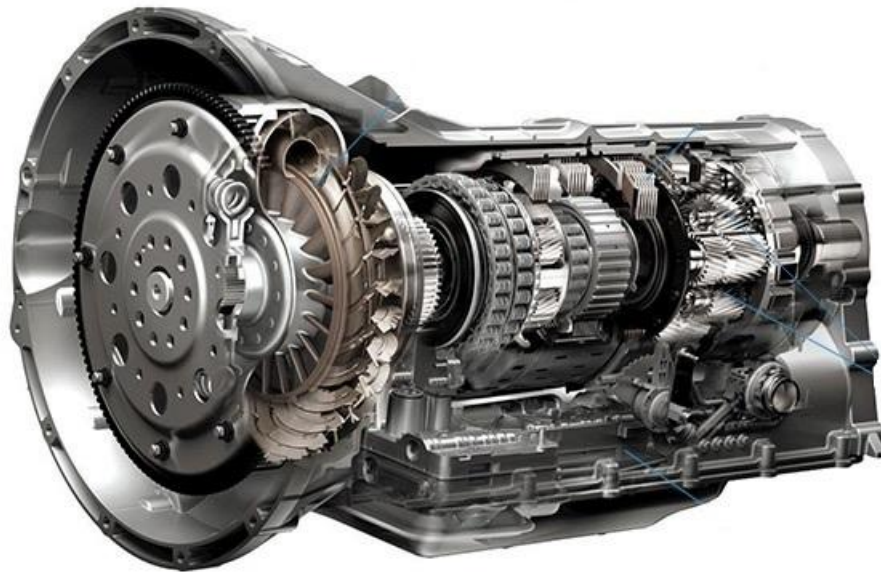


Рисунок 1.8 – Автоматична трансмісія

В розрізі системи адаптивного круїз контролю використовуються тільки автоматичні трансмісії, оскільки використовувати механічну трансмісію неможливо оскільки вона вимагає безпосереднього втручання водія, а сама суть адаптивного круїз контролю заключається в автоматичній зміні швидкості автомобіля, без прямого контакту з водієм. Отже на вхід трансмісії надходить значення крутного моменту двигуна в даний момент часу а на виході отримуємо бажану швидкість обертання яка має надійти до коліс.

Іншою складовою якою керує контролер нижнього рівня є система гальм. Підчас використання системи адаптивного контролю виникають ситуації коли потрібно зменшити швидкість, і в таких випадках зменшення швидкості обертання двигуна не завжди допоможе, тому системі адаптивного круїз контролю потрібно мати доступ до гальмівної системи, щоб була можливість різко зменшити швидкість руху. Гальмівна системи є першою складовою яка відповідає за безпеку руху автомобіля, справні гальма дозволяють уникнути більшість дорожньо-транспортних пригод. Гальмівна система представляє собою замкнутий контур з рідиною, та гальмівними колодками на кожному с коліс. Схема гальмівної системи зображена на рисунку 1.9.

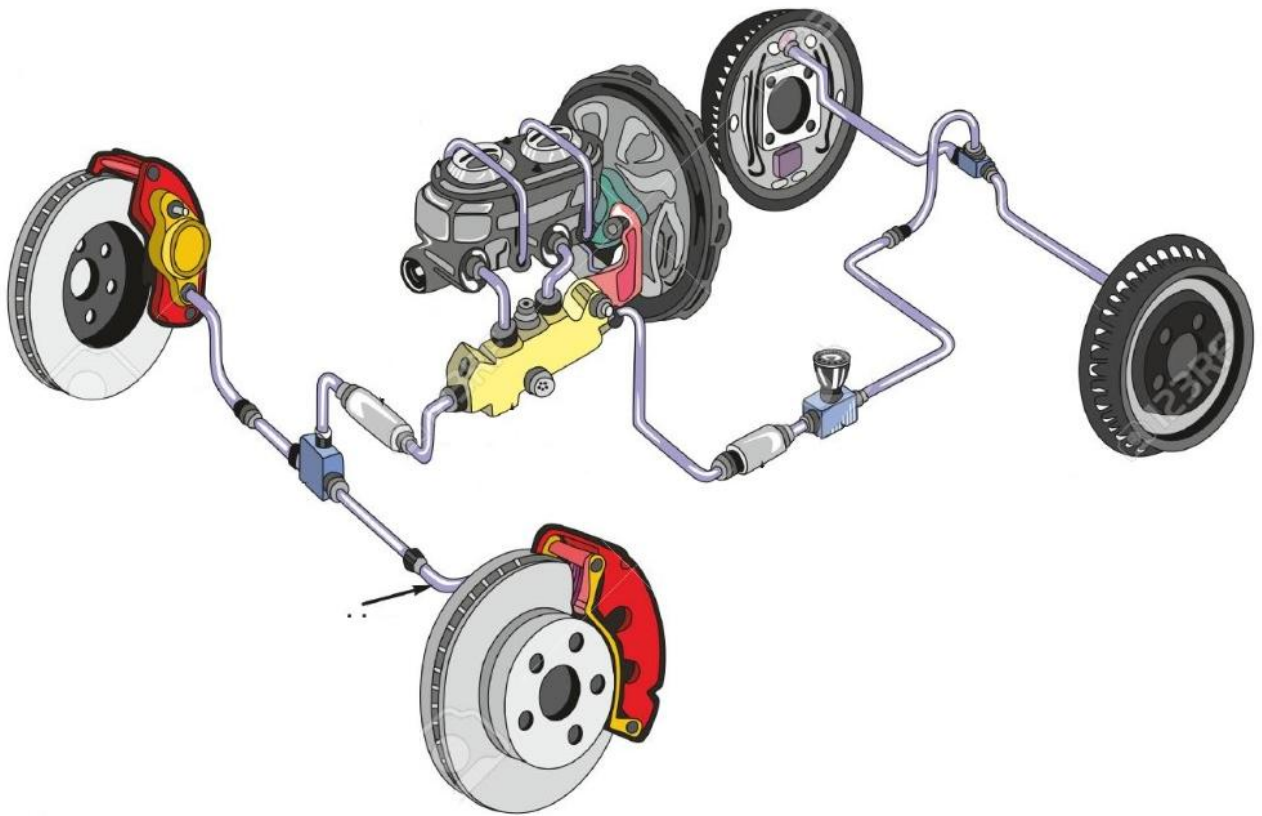


Рисунок 1.9 – Гальмівна система

Гальмівні системи поділяються на дискові та барабанні, але в більшості випадків використовується змішана система гальм. За своєю суттю ці два види гальм працюють майже ідентично. Коли водій натискає на педаль гальм він створює тиск в системі, рідина під тиском змушує стискатися гальмівні колодки, що в свою чергу продукує тертя і зменшення швидкості обертання коліс, що в свою чергу і призводить до гальмування.

Саме тим, що саме продукує тертя відрізняються дискові та барабанні гальма. В дискових гальмах тиск рідини спричиняє стиснення гальмівних колодок і тертя їх об гальмівний диск. В барабанних гальмах навпаки тиск рідини спричиняє розширення гальмівних колодок, і тертя їх об внутрішню частину барабану. Навантаження яке діє на автомобіль під час гальмування зосереджується на передніх колесах, тому навантаження на гальма передніх коліс найбільше, саме тому у змішаних типах гальмівних систем дискові гальма встановлюють на передню вісь, а барабанні гальма на задню. Це зумовлено тим, що дискові гальма

рахуються більш надійними, і витримують більші навантаження. Схеми двох типів гальмівних систем зображено на рисунку 1.10.

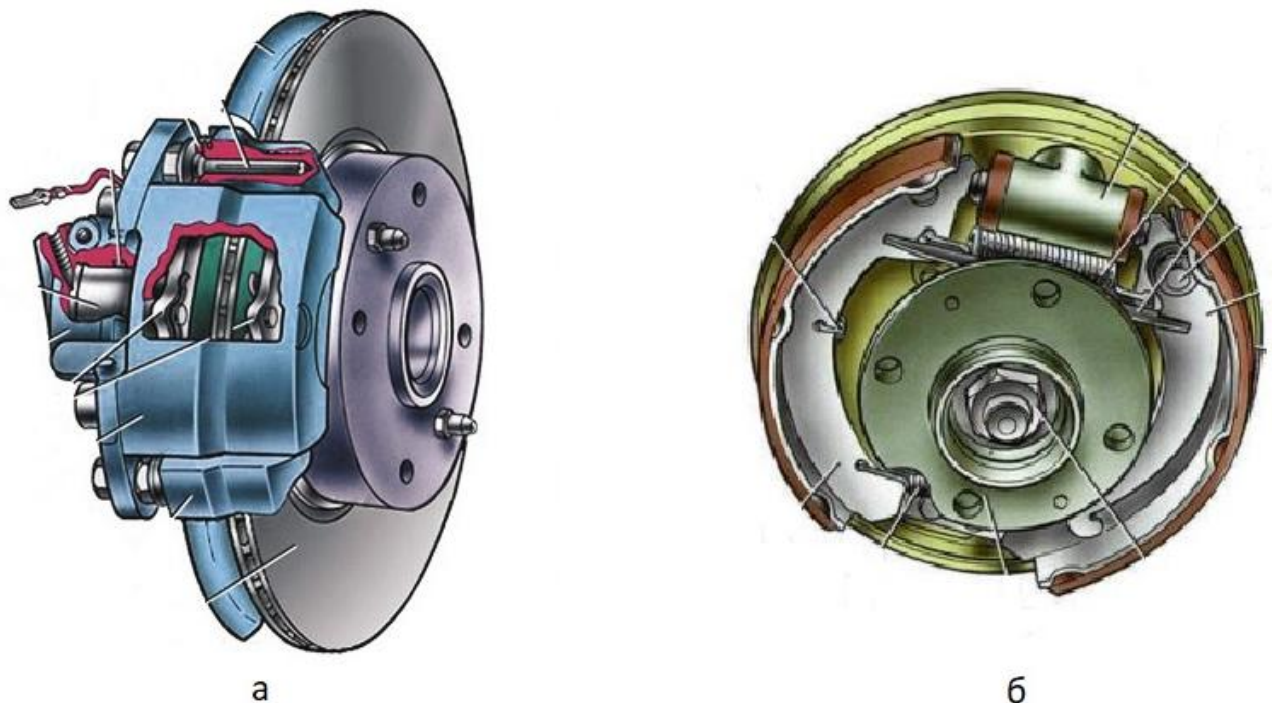


Рисунок 1.10 – а) Дискові гальма; б) Барабанні гальма

Розглядаючи гальма у розрізі системи адаптивного круїз контролю, то на вхід буде приходити значення тиску гальмівної рідини, а на виході буде швидкість автомобіля в даний момент часу.

Підводячи підсумки контролер нижнього рівня керує і взаємодіє з великою кількістю складових автомобіля, але основні з них це двигун, система трансмісії, та гальма.

Завдяки тому що контролер надсилає сигнали до цих частин автомобіля система адаптивного круїз контролю може змінювати швидкість автомобіля, контролювати відстань між автомобілями, реагувати на зміну смуги руху автомобіля, та реагувати на велику кількість інших ситуацій.

## 1.6 Висновок

Системи адаптивного круїз контролю на сьогоднішній день є досить розповсюдженими, і стрімко розвиваються. Одним із аспектів цього розвитку став розвиток альтернативних видів енергії, що в свою чергу привело до появи гібридних та електромобілів. Системи адаптивного круїз контролю працюють з такими складовими автомобіля як двигун, система трансмісії, та система гальм. Основною задачею системи адаптивного круїз контролю є забезпечення безпеки руху автомобіля, а також покращення ефективності руху шляхом зменшення витрати палива.

## **2 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ**

### **2.1 Архітектура адаптивного круїз контролю**

Системи адаптивного круїз контролю діляться на 3 частини, це сенсори, контролер верхнього рівня, контролер нижнього рівня. Кожна з цих частин пов'язана між собою і відповідає за свою частину функціоналу. Сенсори відповідають за збір інформації про навколишні транспортні засоби. Контролер верхнього рівня відповідає за обробку даних які надходять з сенсорів і передачею інформації до контролера нижнього рівня. Контролер нижнього рівня відповідає за взаємодію між складовими автомобіля, таких як двигун, гальма, система трансмісії, та безпосередньо системою адаптивного круїз контролю [10].

Схематично взаємодію складових системи адаптивного круїз контролю зображено на рисунку 2.1. Як видно з рисунку усі складові послідовно взаємодіють між собою. Сенсори збирають навколишні дані, Контролер верхнього рівня їх обробляє і формує результат, на основі сформованого результату контролер нижнього рівня надсилає сигнали на автомобіль для зміни швидкості руху. Але і в свою чергу контролери верхнього та нижнього рівня крім основних сигналів і даних отримують ще зворотній сигнал від автомобіля, це потрібно для того щоб система адаптивного круїз контролю вносила правки в свій результат, якщо очікуваний результат відрізняється від запланованого.

### **2.2 Контролер верхнього рівня**

В контролері верхнього знаходиться весь функціонал виявлення, порівняння основної цілі, формування висновків на основі даних головної цілі і передача їх до контролера нижнього рівня. Тому в цьому контролері зосереджено різноманітна кількість різних методів та функцій. Одним з таких є PID-контролер.



Рисунок 2.1 – Схема взаємодії складових системи адаптивного круїз контролю

### 2.2.1 PID-контролер

PID-контролер – це метод який широко використовується керування та використання зворотного зв'язку в промисловості. Його перевагами є те, що він має досить низьку обчислювальну інтенсивність та просту теорію [20,21,22]. Функція звичайного PID-контролера представлена в наступному вигляді, рівняння 2.1.

$$C(s) = K_p + K_d * s + K_i * s^{-1}, \quad (2.1)$$

де  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$  коефіцієнти пропорційного, похідного та ітераційного операторів відповідно.

Якщо  $K_d$  або  $K_i$  дорівнюють нулю, то PID-контролер може перетворюватися на PI або PD контролер. Даний функціонал використовується в системах адаптивного круїз контролю для регулювання відстані між автомобілями, і зазвичай базується на основі класичної структури PD-контролера, також деякі системи використовують його як контролер зворотного зв'язку. На рисунку 2.2 зображено схему PID-контролера для зворотного зв'язку.

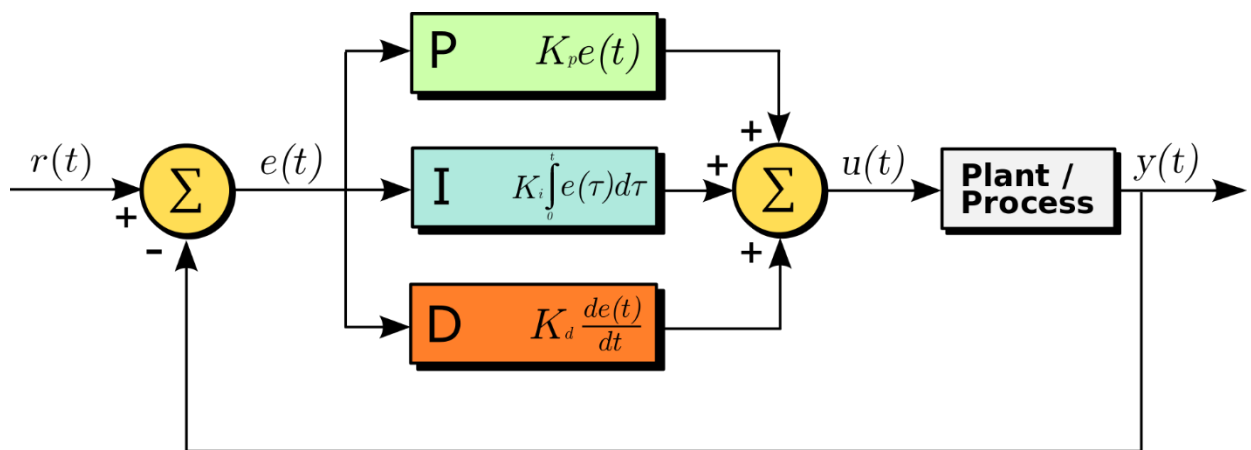


Рисунок 2.2 – PID-контролер для зворотного зв'язку

Окрім традиційного методу PID-контролеру, в системи адаптивного круїз контролю було введено ще й його розширену структуру. FoPID-контролер – це контролер в якому узагальнено порядок набору цілих значень в класичному PID-контролері [23]. FoPID-контролер вважається більш надійним методом для використання у системах керування рухом. Метод FoPID-контролеру описано в рівнянні 2.2.

$$C(s) = K_p + K_d * s^\alpha + K_i * s^{-\gamma}, (\alpha, \gamma) > 0. \quad (2.2)$$

В FoPID-контролері можуть бути змінені не тільки значення операторів ітерації та похідної, а також може бути змінена їх поведінка. На це можуть впливати п'ять параметрів  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$ ,  $\alpha$  та  $\gamma$ .

Також на основі цього було створено алгоритм управління який використовує дробові порядки для керування дистанції. Це метод дозволяє підвищити продуктивність та контролерів цілого порядку [24].

### 2.2.2 Еталонна модель

Ще одним методом який розміщується в контролері верхнього рівня є метод контролю на основі спільної моделі, або ж еталонної моделі. Цей метод керування використовує еталонні моделі для опису динаміки між транспортними засобами, та генерування бажаного прискорення швидкості автомобіля з системою адаптивного круїз контролю. Такі модулі можуть включати в себе модель динаміки автомобіля, та модель водія [25]. Одним з прикладів таких моделей зображено на рисунку 2.3.

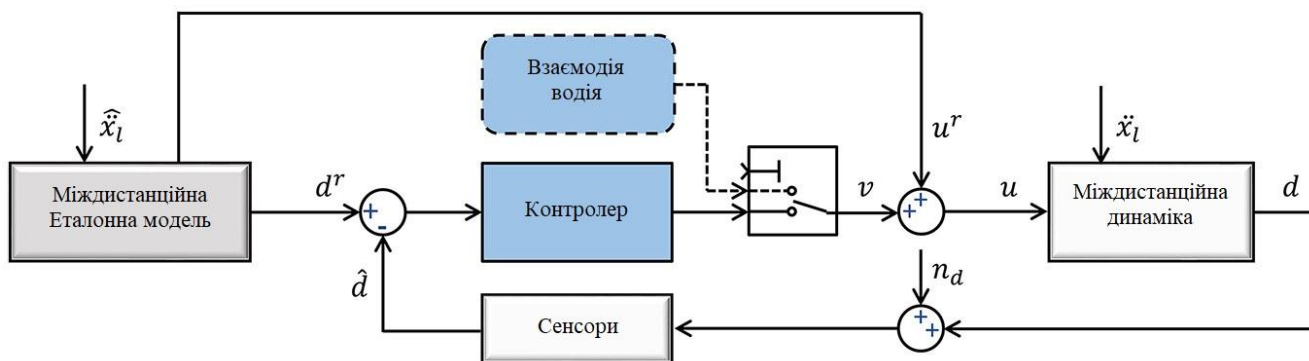


Рисунок 2.3 – Метод контролю дистанції на основі еталонної моделі

Модель зображена на рисунку 2.3 отримує стан руху двох транспортних засобів і отримує бажаний інтервал між транспортними засобами, який відстежує контролер.

Щоб компенсувати деякі неточності які можуть виникнути в процесі роботи вводиться цикл зворотного зв'язку. У еталонній моделі дистанція між автомобілями розділена на різні частини, в залежності від рівнів безпеки. На рисунку 2.4 зображено розподіл цих інтервалів.

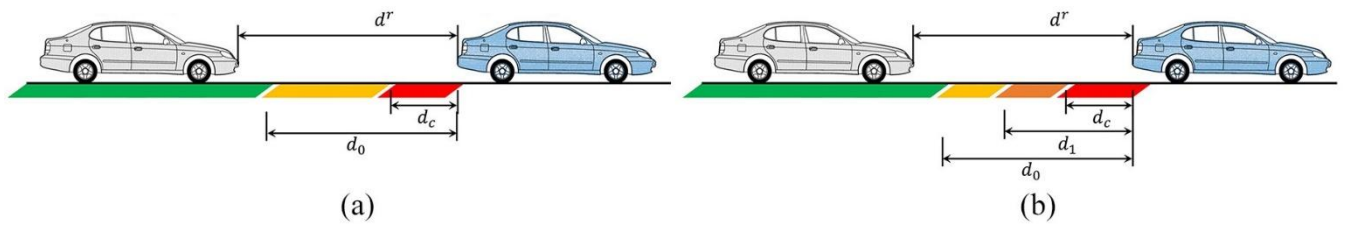


Рисунок 2.4 – Розподіл безпечних інтервалів між автомобілями

Наприклад  $d_0$  це номінальна безпечна відстані між автомобілями,  $d_c$  це мінімальна безпечна відстань. Якщо наприклад відстань  $d^r$  більша за відстань  $d_0$  то автомобіль продовжує рухатися з заданою швидкістю. Якщо ж ця відстань буде меншою, то контролер буде відслідковувати швидкість руху автомобіля по переду, на основі формули 2.3.

$$\ddot{\tilde{d}} = -c|\dot{\tilde{d}}| \dot{\tilde{d}} - \hat{\tilde{x}}_l, \quad (2.3)$$

Де  $\tilde{d}$  – це похибка відстані до  $d_0$ ,

$\hat{\tilde{x}}_l$  – це прискорення автомобіля попереду.

Але в представленій моделі можуть виникати деякі протиріччя між безпекою та комфортом руху. Для вирішення таких протирічч було введено розширену еталонну модель визначення відстані між автомобілями [26]. Як зображено на рисунку 2.4(b) комфорт і безпека розглядаються двома різними діапазонами  $d_0$  та  $d_1$ . Таким чином підвищується одразу і комфорт і безпека, що в свою чергу приводить до підвищення продуктивності.

Також однією з проблем моделі описаної вище є те що виникають проблеми з відображенням реальної динаміки між автомобілями через складність динамічних властивостей автомобіля [27]. Для вирішення цього було введено лінійний контролер на основі моделі яка змінюється в часі.

Це модель описує стан руху транспортних засобів у конкретний проміжок часу. І зберігає ці дані у формі часових рядів.

Це дозволяє підвищити надійність контролера в різних робочих умовах. І як показали досліди ця модель яка описує стан руху транспортного засобу в конкретний момент часу краще за модель з постійними параметрами.

### 2.2.3 Управління ковзним режимом

Наступним модулем контролера верхнього рівня може бути система управління ковзним режимом (SMC). SMC – це одна із систем управління яка базується на основі змінної структури яка має перевагу в обробці невизначеностей для складних систем високого порядку. Для реалізації цілі керування метод змінює динаміку нелінійної системи шляхом застосування переривчастого керуючого сигналу, який змушує систему «ковзати» уздовж перерізу нормальної поведінки системи.

Для розробки SMC під систему адаптивного круїз контролю було проведено ряд досліджень. Так один з методів був натхнений концепцією безпеки системи адаптивного круїз контролю [28]. В загальному існує два стани в залежності від співвідношення між безпечною відстанню  $d_s$  та реальною відстанню  $d$ , так безпечний стан це коли  $d_s > d$ , а небезпечний стан це коли  $d_s < d$ . Значення безпечної відстані  $d_s$  визначається за наступною формулою (рівняння 2.4).

$$d_s = d_0 + T\vartheta_e, \quad (2.4)$$

Де  $T$  – це встановлений час руху,

$v_e$  – це швидкість автомобіля.

Виходячи з цієї теорії контролер ковзного режиму можна представити наступним чином, рівняння 2.5.

$$u = \begin{cases} f_1(d, \vartheta_e)s > 0 \\ f_1(d, \vartheta_e)s < 0 \end{cases}, \quad (2.5)$$

де  $u$  – це керуюча змінна (наприклад це може бути крутний момент двигуна),

$s$  – це функція перемикання.

Таким чином контролер має зміну структуру для двох станів безпеки, безпечна і небезпечна ситуація. Якщо бажана швидкість руху автомобіля з адаптивним круїз контролем менша за швидкість руху автомобіля попереду, то мета цього контролю  $f_1$  та  $f_2$  полягає у виконанні  $s=0$ , якщо ні, і швидкість руху більша, то мета цього контролю полягає в тому, щоб задати значення швидкості автомобіля з адаптивним круїз контролем рівним значенню швидкості автомобіля попереду [29, 30, 31].

В ще одному прикладі використання SMC в адаптивному круїз контролі пропонують використання різних функцій перемикання. В цих прикладах додатково розглядається різниця швидкостей між транспортним засобом з адаптивним круїз контролем, та транспортним засобом попереду(рівняння 2.6).

$$\begin{aligned} s_1 &= (\Delta\vartheta - d_c) + k_1(d - d_s) \\ s_s &= \Delta\vartheta + k_1(d - d_s) \end{aligned} \quad (2.6)$$

#### 2.2.4 Лінійний квадратичний регулятор

Наступним модулем в контролері верхнього рівня може бути лінійний квадратичний регулятор (LQR). Цей модуль в системах адаптивного круїз контролю використовується для компромісу між різними показниками ефективності, такими як економія палива, чи продуктивність відстеження.

Зазвичай він використовується для зменшення споживання палива при дослідженнях, оскільки цей модуль має здатність обмежувати та оптимізувати прискорення [32, 33, 34].

Модель динаміки між автомобілями встановлюється у формі простору станів яка встановлює зв'язок між вхідними векторами керування та векторами стану. Для оцінки ефективності відстеження транспортних засобів за один проміжок часу використовується квадратична функція витрат.

За допомогою мінімізації значення функції витрат обчислюється оптимальний контрольний ряд, який потім буде використовуватися як

контрольний вхід. Форма моделі динаміки між транспортними засобами та функціями витрат представлені у вигляді рівняння 2.7.

$$\begin{aligned} x &= Ax + Bu + Gw \\ J &= \int_0^T (x^T Qx + u^T Ru) dt' \end{aligned} \quad (2.7)$$

де  $x$  – вектор стану,

$U$  – керуюча змінна,

$W$  – збурення

$Q$  та  $R$  – ваги функцій витрат.

Контрольні цілі та динаміка контролера змінюється в різних сценаріях руху об'єкта .

Щоб краще впоратися з цим ефектом, було введено лінійний квадратичний регулятор з зміною ваги функції витрат, що дало змогу підвищити надійність алгоритму.

Як зображено в таблиці 2.1 вимоги до ваги  $w_x$ ,  $w_v$ ,  $w_a$  змінюється в різних сценаріях.

Наприклад у першому випадку система адаптивного круїз контролю не буде прискорюватися щоб уникнути значного перевищення швидкості у майбутньому, тому значення прискорення більше зменшуються ніж значення відстані [35].

### 2.2.5 Модель прогнозованого контролю

Також однією з складових контролера верхнього рівня є модель прогнозованого контролю (MPC), або як її ще називають контроль горизонту [36, 37]. Ця модель схожа з попередньо описаним модулем лінійного квадратичного регулятора, вони обидва використовують модель динаміки між транспортними засобами, та функції витрат. Однак на відміну від лінійного квадратичного регулятора MPC є дискретною системою замість неперервних диференціальних рівнянь LQR. Також MPC вирішує оптимальну задачу в часовому проміжку що

змінюється, а не в статичному [38]. Як показано на рисунку 2.5 MPC обчислює оптимальну контрольну зміну в кожній вибірці на кожному проміжку часу, с той момент як LQR оптимальну контрольну зміну лише один раз за весь період.

Таблиця 2.1 – Приклад сценаріїв, і відповідних їм вимог до ваги

Сценарії	Бажана реакція системи	Бажана вага $w_x$	Бажана вага $w_v$	Бажана вага $w_a$
Автомобіль попереду знаходиться на великій відстані і рухається з малою швидкістю	Не прискорюватися	Маленька	Велика	Велика
Швидкість автомобіля попереду нижча ніж швидкість встановлена в системі АКК	Плавно зменшувати швидкість	Велика	–	Велика
Швидкість автомобіля з системою АКК набагато вища ніж швидкість встановлена в системі	Швидке гальмування	Велика	Велика	Маленька

Більшість алгоритмів MPC для систем адаптивного круїз контролю використовують лінійну модель, проте існують і нелінійні MPC [39]. Лінійні MPC Можна описати наступним виразом (рівняння 2.8).

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Gw(k) \\ y(k) = Gx(k) \end{cases}, \quad (2.8)$$

$$J = \sum_{k=1}^{N_p} y(k)^T Q y(k) + \sum_{k=0}^{N_c-1} u(k)^T R u(k)$$

Де  $x(k)$ ,  $u(k)$ ,  $w(k)$  – це вектори стану,

$Q$ ,  $R$  – вагові матриці,

$N_p$  – це горизонт прогнозування,

$N_c$  – це горизонт контролю.

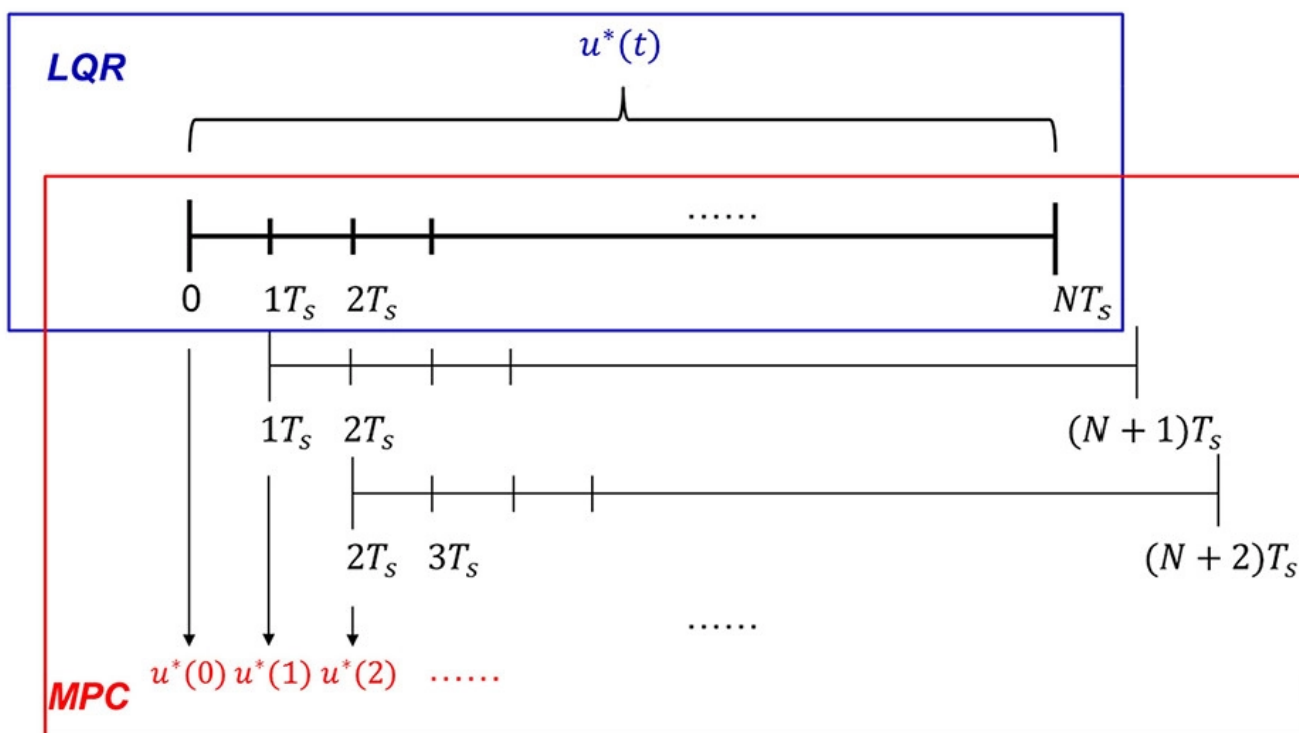


Рисунок 2.5 – Порівняння LQR та MPC

Оптимальна керуюча змінна отримується розв'язуванням функції витрат при обмеженнях станів та керуючих змінних, що в свою чергу є фактично квадратичною оптимальною проблемою. Іноді оптимальне рішення не може бути знайдено в межах заданих обмежень, тому застосовується метод пом'якшення обмежень для розрахунку оптимальної змінної керування яка знаходиться поза межами заданих обмежень [40, 41]. Таким чином, метод MPC може збалансувати різні показники ефективності в одній функції витрат, такі як

безпека, комфорт, економія палива тощо, серед яких економію палива досить важко оцінити в рамках схеми MPC. У деяких випадках плавність прискорення включається у функцію витрат, щоб відобразити економію палива, в той час як в інших дослідженнях еталонної траєкторії економічність палива заздалегідь визначена та розглядаються в рамках MPC і результати показують, що цей варіант значно зменшує використання палива [42].

### 2.2.6 Нечітке управління

Для підвищення стійкості алгоритмів системи адаптивного круїз контролю за різних сценаріїв водіння, були застосовані алгоритми нечіткого управління. Нечітке управління підходить для ситуацій із декількома параметрами та складних сценаріїв. В таких випадках команди керування виводяться з бази нечітких правил на основі досвіду системи [43]. Нечітка логіка може бути застосована в різних формах для алгоритмів системи адаптивного круїз контролю. Як і інші методи модуль нечіткої логіки може служити основою контролера верхнього рівня. Бажана швидкість та прискорення генерується шляхом нечіткого висновку який базується на основі відстані та відносної швидкості для регулювання відстані між транспортними засобами. Бажані швидкість та прискорення передаються до контролера нижнього рівня [44]. Модулі нечіткої логіки можна також інтегрувати в уже існуючі алгоритми системи адаптивного круїз контролю, що дає змогу підвищити та покращити ефективність роботи системи.

### 2.2.7 Алгоритми стохастичної оптимізації.

Алгоритми стохастичної оптимізації включають евристичні та метаевристичні алгоритми. Методи евристичної оптимізації подібні до природного процесу навчання, до цього приводить робота алгоритму за допомогою ітераційних спроб та помилок, і використання штучних нейронних

мереж, та інші методи машинного навчання[45, 46, 47]. Метаевристичні методи є подальшим розвитком евристичних методів, які використовують рандомізацію та локальний пошук. Відомі методи метаевристичної оптимізації включають в себе генетичні алгоритми, деферинціальну еволюцію і оптимізацію роєм частинок.

З розвитком штучного інтелекту різні евристичні методи оптимізації були застосовані до керування АСС [48]. Так була запропонована штучна нейрона мережа із прямим зв'язком, що забезпечило швидку реакцію, та контроль меншої відстані між автомобілями. Деякі системи адаптивного круїз контролю які базуються на МОС використовують нейронну мережу для оптимізації системи. Результати системи MPC використовуються обраної нейронної мережі, яка демонструє меншу обчислювальну складність і майже однакову продуктивність. Також нейроні мережі поєднують із нечіткими логічними висновками, для реалізації управління нечіткою нейронною мережею, де нейронні мережі навчають визначати ваги системи нечіткого висновку [49, 50, 51].

### 2.3 Контролер нижнього рівня

Нижній рівень системи адаптивного круїз контролю можна розглядати як регулятор поздовжньої динаміки автомобіля. Алгоритми керування нижнього рівня генерують сигнали для двигуна, трансмісії та системи гальм, щоб відстежувати бажану швидкість та прискорення задані алгоритмами контролера верхнього рівня. Сигнали які генерує контролер нижнього рівня можуть відрізнитися в залежності від ситуації [52, 53, 54]. Наприклад бажаний крутний момент двигуна, або відкритість дросельної заслінки, це сигнали які можуть бути надіслані двигуну автомобіля. Тоді як сигнали гальмівної сили, або гальмівного тиску можуть бути надіслані тільки гальмівній системі.

Деякі дослідження акцентують увагу на контролері лише певного компонента, наприклад трансмісії чи гальм. Було розроблено багато методів які дозволяють керувати дросельною заслінкою, це такі методи як PID, SMC. Розроблено метод електронного контролю дросельної заслінки для системи

адаптивного круїз контролю, який використовує метод прямого PID [55, 56, 57]. Входом для PID-регулювання слугує бажаний кут відкриття дросельної заслінки, а потім контролер генерує сигнали широкої імпульсної модуляції для керуванням двигуном постійного струму, який може точно керувати кутом повороту дросельної заслінки. Точне керування виконавчими механізмами забезпечене завдяки алгоритмам керування контролера верхнього рівня. Але в сучасних реаліях недостатньо керувати лише дросельною заслінкою. Тому був запропонований і введений контролер керування безступінчастою трансмісією [58, 59, 60]. Також було запропоновано оптимальний паливорегулятор для системи адаптивного круїз контролю, для цього було використано адаптивний метод SMC в контролері верхнього рівня, який дозволяв підтримувати оптимальну швидкість, і дозволяв відслідковувати оптимальну роботу двигуна внутрішнього згоряння. Адаптивний алгоритм використовувався для компенсації невизначеностей зовнішніх дорожніх обставин. Результати моделювання демонстрували ефективність і стабільність контролера [61, 62].

Крім зосередження на розробці контролерів для певних складових автомобіля, були розробки і загального контролера нижнього рівня для системи адаптивного круїз контролю. Для реалізації поздовжнього контролю динаміки автомобіля використовувалися різні теорії управління. Результатом цього став контролер нижнього рівня розроблений Brugnolli, де входами оптимальна швидкість автомобіля згенерована контролером верхнього рівня, і фактична швидкість автомобіля, а виходами були сигнали на механічні частини автомобіля [63, 64]. Не зважаючи на свою стабільність цей контролер не має широкого застосування через свою повільну реакцію. Також ще одним з видів розроблених контролерів є контролер з використанням ковзним режимом входами якого є бажане прискорення, а виходом є бажана сила прискорення або гальмування. Керування ковзним режимом цінується через його здатність справлятися з різними ситуаціями. Результати цього контролеру демонструють, що керування ковзним режимом може добре справлятися з різноманітними механічними даними [65].

Звичайні методи контролю в більшості випадків вимагають точної моделі динаміки транспортного засобу та експериментів з калібрування для досягнення хороших результатів відстеження, що зазвичай вимагає багато часу. Щоб уникнути цього було запропоновано метод ітеративного контролю навчання. Даний контролер вже після десяти ітерацій може досягти точного відстеження бажаного прискорення [66, 67, 68].

Результати випробувань показали, що його характеристики перевищують результати звичайних PID-контролерів, та методи керування на основі моделей. Деякі контролери нижнього рівня використовують адаптивні нейронні мережі, для керування нижнім рівнем, і часові ряди. Моделювання цього методу демонструють стабільність руху [69].

Методи засновані на моделях зворотної механіки, також використовуються для передачі бажаного прискорення на механічні частини автомобіля. Так було запропоновано систему адаптивного круїз контролю для електромобілів, де інверсна динамічна модель використовувалася в нижньому контролері для створення необхідного рушійного, або гальмівного моменту, відповідно до заданого бажаного прискорення [70, 71]. Схематичний вигляд цієї моделі зображено на рисунку 2.6.

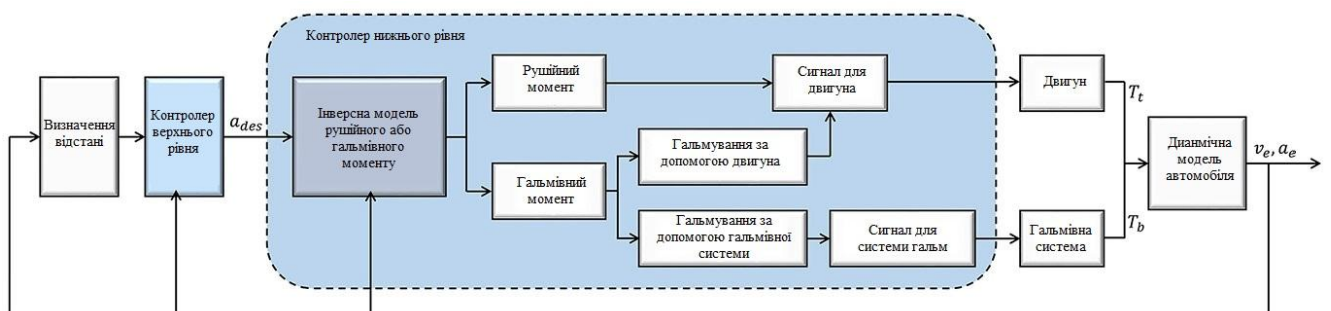


Рисунок 2.6 – Інверсна динамічна модель контролера нижнього рівня

Інверсну модель можна також представити у вигляді рівняння 2.9

$$\begin{aligned}
T_t - T_b &= (F_f + F_w + F_v + ma_{des})r \\
&= (mgf + \frac{1}{21.15} AC_d v_{des}^2 + \frac{J_r + J_f}{r^2} a_{des} + ma_{des})r,
\end{aligned} \tag{2.9}$$

де  $T_t$  та  $T_b$  – це рушійні та гальмівні моменти,

$F_f$ ,  $F_w$ , і  $F_v$  – це опір який виникає при обертанні коліс, вітру, чи інерції.

Також для моделі інверсного гальмування використовувався PID-контролер [72, 73]. Це дало змогу розрахувати гальмівний тиск, який надає система адаптивного круїз контролю (рівняння 2.10).

$$p = (0.0088 + 0.017a_{des} + 0.12a_{des}^2)(1 + 1.1^{-0.27v_{des}}) \tag{2.10}$$

Іє  $p$  – це бажаний гальмівний тиск,

$v_{des}$  – це бажана швидкість автомобіля.

Через різні динамічні властивості трансмісії та гальмівної системи, до них застосовується різні методи керування [74, 75]. Різниця динамічних властивостей може бути представлена функціями передачі цих двох систем, рівняння 2.11, де  $\tau$  – це постійна часу яка залежить від гальмівної сили.

$$\begin{aligned}
G_{accel} &\cong \frac{4.39}{s+0.174} \\
G_{decel} &\cong \frac{1}{\tau s+1}, \tau \in [1.6, 3.1]s.
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Також важливим аспектом контролера нижнього рівня є оптимізація частоти перемикавання між прискоренням та гальмуванням, оскільки це впливає на комфорт водіння, на економію палива, та очікуваний термін служби компонентів [58]. Узагальнений метод полягає в тому щоб уникнути частого перемикавання, коли бажане прискорення наближається до порогового значення. На рисунку 2.7 зображено червону лінію, яка імітує уповільнення спричинене опором повітря, або опором обертання коліс [76, 77, 78].

Щоб зменшити частоту перемикання, було виділено область яка виділена верхньою та нижньою пунктирними лініями. Керування прискоренням буде відбуватися лише тоді, коли бажане прискорення знаходиться вище верхньої пунктирної лінії, тоді як керування гальмами буде відбуватися бажане прискорення нижче нижньої пунктирної лінії [79, 80]. Жодна з цих дій не відбувається, якщо прискорення знаходиться в межах області виділеної синіми пунктирними лініями. Наприклад в MPC цей метод використовує двійкові значення, щоб обмежити частоту перемикань. Дослідження показали, що використання цього методу в системах адаптивного круїз контролю суттєво покращують показники економії палива, та комфорту водіння.

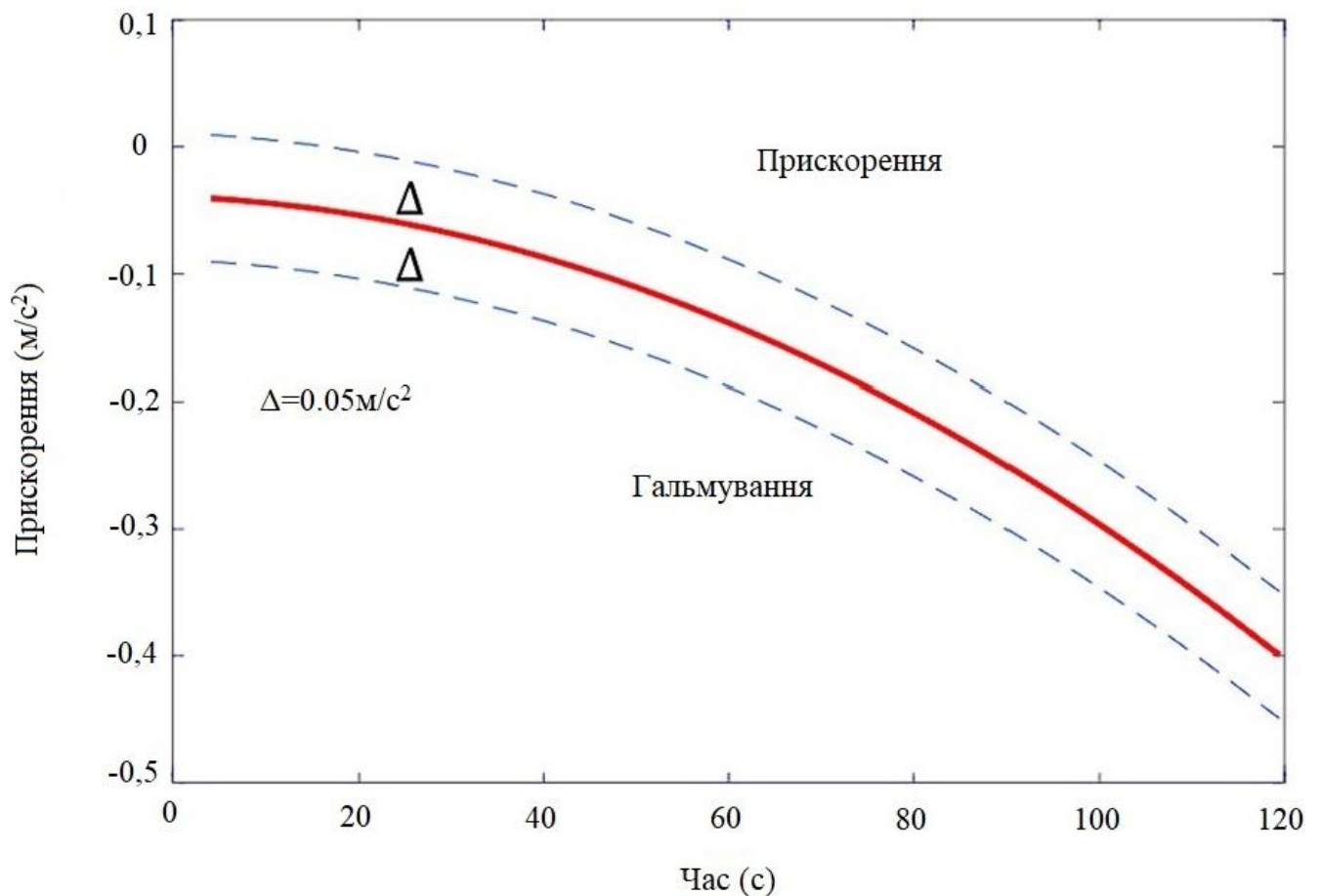


Рисунок 2.7 – Обмеження частоти перемикань між прискоренням та гальмуванням

## 2.4 Висновок

Системи адаптивного круїз контролю складаються з двох основних складових, це контролери верхнього та нижнього рівнів. В контролері верхнього рівня знаходяться модулі, які на основі зібраних показників формують значення бажаного прискорення, або ж за допомогою алгоритмів обирають основну ціль за якою має слідувати система. Контролер верхнього рівня може поєднувати в собі декілька різних модулів, які синхронно працюють, що дає змогу покращити показники ефективності системи, а також поєднання модулів може вирішити деякі недоліки цих модулів. Контролер нижнього рівня виконує роль передавача, і дозволяє поєднати контролер верхнього рівня з механічними частинами автомобіля, такими як двигун, трансмісія чи гальма. На основі значення бажаного прискорення який формується в контролері верхнього рівня, контролер нижнього рівня формує сигнал до тої чи іншої механічної частини, і в результаті відбувається прискорення або ж гальмування автомобіля. Також важливою частиною цих контролерів є зворотній зв'язок, оскільки, в залежності від дорожньої ситуації, значення бажаного прискорення не завжди може бути потрібним, і автомобіль, наприклад, замість збільшення швидкості буде уповільнюватися. Саме тому вводиться поняття зворотного зв'язку, щоб система адаптивного круїз контролю могла вносити поправки в значення бажаного прискорення.

### **3 МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛІ ДЛЯ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ АВТОМОБІЛЯ**

3.1 Основи методу визначення цілі адаптивного круїз контролю на основі машинного навчання.

Основною задачею адаптивного круїз контролю, є забезпечення безпеки руху завдяки зміни швидкості руху в залежності від навколишньої ситуації. Одною з найголовніших складових системи круїз контролю є правильне визначення основної, або ж пріоритетної, цілі, оскільки від цього буде залежати робота усієї системи. Саме для цієї складовою адаптивного круїз контролю запропоновано метод, який буде базуватися на основі машинного навчання. У методі за основу використано нейронну мережу з довгою короткочасною пам'яттю, яка дозволяє оптимізувати роботу запропонованого методу, і також в доповнення до цієї мережі використовується спільна модель мережі, що дозволить пришвидшити роботу методу. На рисунку 3.1 зображена узагальнена схема запропонованого методу.

#### 3.2 Обробка даних

В даній роботі набір даних представляє собою часові ряди. Часовий ряд містить в собі набір даних зібраних з різних датчиків, які визначають положення та швидкість транспортного засобу який використовує адаптивний круїз контроль, та положення навколишніх транспортних засобів. Дані в часовий ряд записуються з певним кроком, або ж інтервалом, в запропонованому методі дані записуються з частотою в 100Гц. що еквівалентне кроку в 0,01с.

Часові ряди повертають певне числове значення, і ці значення не завжди будуть в одному діапазоні, що може погано повпливати на запропонований метод. Тому потрібно звести усі дані до спільного діапазону, це зведення називається нормалізацією даних.

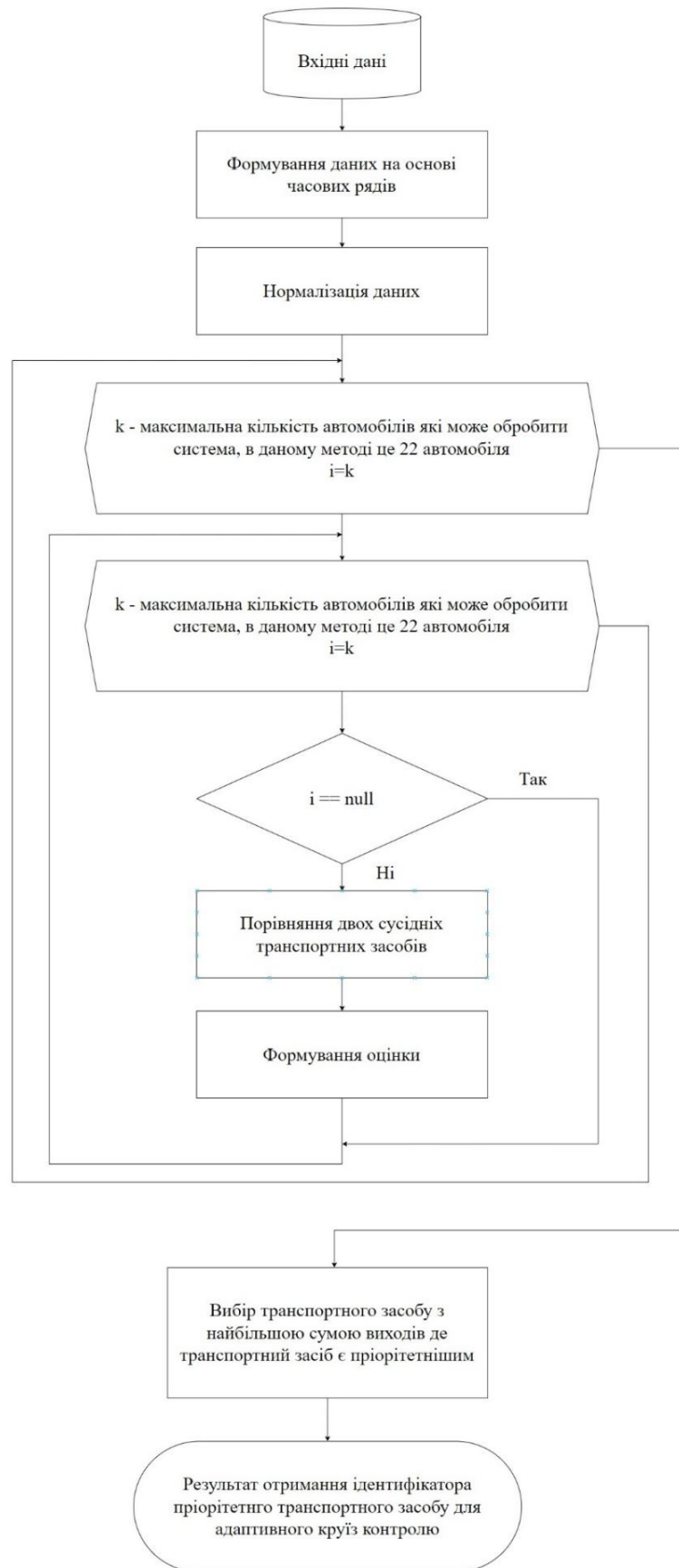


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема методу виявлення цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля

Нормалізація даних полягає в попередній обробці вхідних даних, для забезпечення того, щоб усі значення були в межах одного діапазону, у запропонованого методу цей діапазон буде від нуля до одиниці. Нормалізацію потрібно виконувати для того, щоб усунути вплив різноплановості даних на визначення пріоритетної цілі, що може прискорити навчання, та покращити роботу алгоритму. В запропонованому алгоритмі дані нормалізуються за допомогою мінімаксного методу нормалізації, формула яка описує це метод зображена нижче (рівняння 3.1).

$$X' = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)}, \quad (3.1)$$

де  $X'$  – об'єкт після нормалізації

$X$  – об'єкт до нормалізації.

Мінімаксна нормалізація – це один з способу нормалізації даних, який дозволяє перетворити дані відповідно до мінімальних та максимальних значень цього набору даних. Даний метод дозволяє нормалізувати дані з збереженням мінімального та максимального значень оригінального набору даних. Здебільшого такий метод нормалізації використовується у машинному навчанні для стандартизації даних перед їх подальшим використанням. Якщо точність значень є надважливою при аналізі даних, то метод мінімаксної нормалізації є незамінним. В таблиці 3.1 наведено приклад даних до нормалізації за допомогою мінімаксного методу, а в таблиці 3.2 наведено приклад даних після нормалізації.

Таблиця 3.1 – Дані до нормалізації мінімаксним методом

Автомобіль	1	2	3	4	5
Км	12	7	22	5	16
Км/год	56	32	96	24	72

Таблиця 3.2 – Дані після нормалізації мініміксним методом

Автомобіль	1	2	3	4	5
Км	0.4615	0.2308	1.0	0.0	0.6923
Км/год	0.5161	0.1935	1.0	0.0	0.6774

Як видно з таблиці 3.2 усі нормалізовані дані були зведені до діапазону від 0 до 1, і усі значення зберегли співвідношення своїх значень. Так до нормалізації в автомобіля під номером 3 було найбільше значення швидкості та відстані автомобіля, і після нормалізації дані цього автомобіля так і залишилися найбільшими і дорівнюють одиниці. Метод мініміксної нормалізації є простим і демонструє хороші результати у роботі, але також він має певні недоліки. Так якщо набір даних має значення які суттєво відрізняються від середнього, то це призводить до зміни масштабу нормалізованих даних, що впливає на якість обчислень. В таких випадках використовують інші методи нормалізації, один з таких це  $Z$  – нормалізація.

$Z$  – нормалізація це метод при якому дані перетворюються до вигляду, коли їх середнє значення рівне нулю, а стандартне відхилення рівне одиниці.  $Z$  – нормалізацію також називають стандартизацією. Формула  $Z$  – нормалізація виглядає наступним чином (рівняння 3.2).

$$z = \frac{(x - \text{mean})}{\text{std}}, \quad (3.2)$$

де  $x$  – це вихідне значення,

$\text{mean}$  – середнє значення набору даних,

$\text{std}$  – стандартне відхилення набору даних.

За допомогою цієї формули дані зводяться до так званого стандартного розподілу.  $Z$  – нормалізація є ефективним методом, оскільки вона дозволяє зробити дані незалежними від їх шкали та розподілу, а також зменшує чутливість до того значень які суттєво відрізняються від середнього значення. Також слід

зауважити, що даний метод нормалізації не є кінцевим, і потрібно додатково ще проводити мініміксну нормалізацію даних.

В таблиці 3.3 наведено приклад даних до Z – нормалізації, а в таблиці 3.4 наведено приклад даних після нормалізації.

Таблиця 3.3 – Дані до Z – нормалізації

Автомобіль	1	2	3	4	5
Км	12	7	22	5	16
Км/год	56	32	96	24	72

Таблиця 3.4 – Дані після Z – нормалізації

Автомобіль	1	2	3	4	5
Км	-0.2069	-0.8621	1.2414	-1.1034	0.9309
Км/год	-0.2773	-0.9241	1.3781	-1.1594	0.9827

Як видно з таблиці 3.4 дані були нормалізовані, і знаходяться в діапазоні від -2 до 2, але цей діапазон не відповідає потрібному діапазону для роботи запропонованого методу, тому потрібно додатково провести ще мініміксну нормалізацію. І фінальний результат буде виглядати наступним чином, таблиця 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані після Z – нормалізації та зведення їх до діапазону від 0 до 1

Автомобіль	1	2	3	4	5
Км	0.4525	0.2184	1.0000	0.0000	0.8392
Км/год	0.4366	0.2547	1.0000	0.0000	0.8766

Але обидва методи нормалізації потрібно використовувати до відповідних наборів даних, щоб їх ефективність була оптимальною, саме тому в запропонованому методі набори даних розділяються на менші числові ряди, і для

кожного з цих рядів використовується оптимальний метод нормалізації, що дозволяє досягти найефективнішої швидкодії.

В таблиці 3.6 зображений приклад набору даних який використовується в запропонованому методі, і як видно з рисунку цей набір вже нормалізований і зведений до діапазону від 0 до 1.

Таблиця 3.6 – Приклад нормалізованих даних

Крок	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Функції	0,320	0,342	0,312	0,342	0,345
	0,217	0,202	0,257	0,278	0,289
	0,780	0,767	0,723	0,731	0,732
	0,0523	0,530	0,532	0,527	0,522

В кожний момент часу запропонований метод може працювати з 22 транспортними засобами, і обробляти дані з їх числових рядів, але не завжди навколо автомобіля може знаходитися 22 транспортних засоби, і тому це потрібно передбачити, оскільки в таких ситуаціях можуть виникати помилки. Саме тому було і введено в цей метод таке поняття як підміна. Підміна – це подія коли замість даних для неіснуючого транспортного засобу підставляється нуль. Завдяки цьому усуваються ситуації, коли можуть бути порожні комірки в таблицях які формуються на основі часових рядів.

Також однією з важливих функцій підміни є доповнення таблиць часових рядів і приведення їх до одної довжини. Наприклад може виникнути ситуація коли є різні часові ряди, і вони мають різну довжину, оскільки дані були отримані в різних проміжках часу, в такому випадку за допомогою підміни на початок ряду додаються нулі, що і дозволяє уникнути різної довжини часових рядів, що в свою чергу дозволяє уникнути помилок в роботі запропонованого методу. Приклади підміни зображено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Приклад підміни даних

Крок	-0,01	0	0,01	0,02	0,03
Функції	0	0	0	0,325	0,342
	0	0,220	0,215	0,217	0,202
	0	0	0	0,731	0,732
	0	0	0,532	0,532	0,530
	0	0	0	0	0

Основною задачею запропонованого методу є визначення пріоритетної цілі адаптивного круїз контролю на основі обробки даних, і для цього потрібно ідентифікувати часові ряди і їх дані. Це потрібно проводити для того щоб зрозуміти дані якого транспортного засобу будуть порівнюватись в даний момент часу, також в подальшому потрібно буде розуміти який транспортний засіб в даний момент часу є пріоритетний. Для цього в запропонованому методі використовується анотація.

Анотація – це унікальний ідентифікатор який присвоюється кожному автомобілю, тобто і його даним, для того, щоб можна було ідентифікувати його в подальшій роботі методу.

Оскільки запропонований метод може одночасно виявляти до 22 транспортних засобів, тобто може містити до 22 унікальних ідентифікаторів. Для спрощення ми будемо використовувати значення від 0 до 22, але в такому вигляді ми не можемо їх використовувати. Для машинного навчання потрібно щоб дані були заздалегідь підготовлені. В запропонованому методі ідентифікатори будуть кодуватися за допомогою унітарного кодування. Унітарне кодування – це представлення даних лише за допомогою набору нулів та одиниць. Наприклад в запропонованому методі число 3 закодоване унітарним кодуванням буде мати наступний вигляд рисунок 3.2 Оскільки максимальне значення числа дорівнює 22 то довжина закодованого значення буде дорівнювати 22.

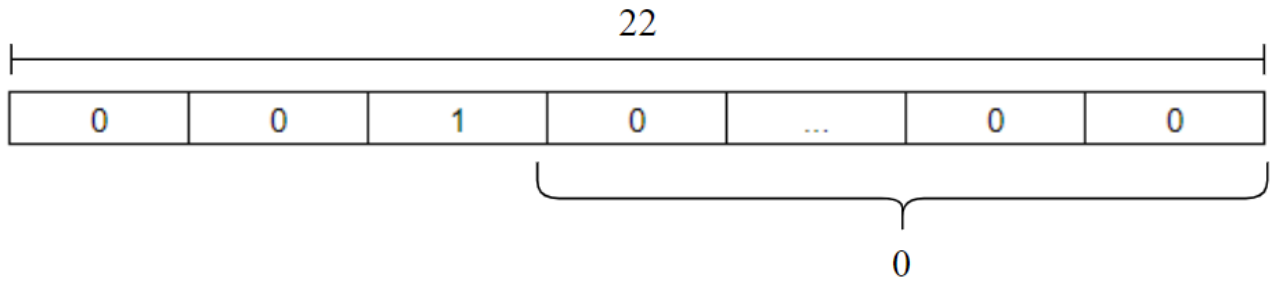


Рисунок 3.2 – Приклад числа 3 в унітарному коді

### 3.3 Інтелектуальна обробка даних та модель транспортних засобів

Результати роботи запропонованого методу залежать від багатьох факторів які містять в собі дані про стан оточуючих транспортних засобів. Тому важливо щоб під час навчання запропонована модель нейронної мережі містила в собі дані про оточуючі транспортні засоби, а також про сам транспортний засіб на якому використовуються система адаптивного круїз контролю. Також однією з ключових особливостей методу полягаю в тому, що усі навколишні транспортні засоби мають мати спільну модель, що дає можливість спростити роботу методу.

Проаналізувавши дані з якими буде працювати запропонований метод, дослідивши способи обробки цих даних було прийнято рішення використовувати спільну модель для навколишніх транспортних засобів, що дає ряд переваг у роботі запропонованого методу. Наприклад розглянемо ситуацію використання моделі штучної нейронної мережі для оцінки семантичної подібності між двома реченнями. Модель в такому випадку буде мати два входи, які представляють собою два речення, як результат ця модель буде повертати значення від нуля до одиниці, що представляє собою оцінку подібності цих двох речень. В цьому випадку подібність речень є певним співвідношенням, і в цьому співвідношенні позиція вхідних речень може змінюватися, що призведе до того, що потрібно буде навчати дві моделі окремо для обробки двох окремих вхідних даних. І в такому випадку це не є раціональним і зручним способом оцінки. Натомість якщо нейронна мережа буде оцінювати ці два вхідні речення за допомогою однієї

моделі це спростить роботу самої мережі, і вже не потрібно буде навчати дві окремі моделі для обробки двох речень, оскільки це все буде вже відбуватися лише в одній моделі. Так само і в запропонованому методі визначення цілі для адаптивного круїз контролю, в мережі будуть різні транспортні засоби, і потрібно порівнювати їх дані для визначення найкращої цілі, тому доцільніше використовувати спільну модель, яка буде обробляти одразу два входи, що прибирає необхідність навчання двох різних моделей для обробки двох різних входів.

Основна мета використання спільної моделі може бути досягнута лише спільною структурою моделі. Приклад структури такої моделі наведено на рисунку 3.8.

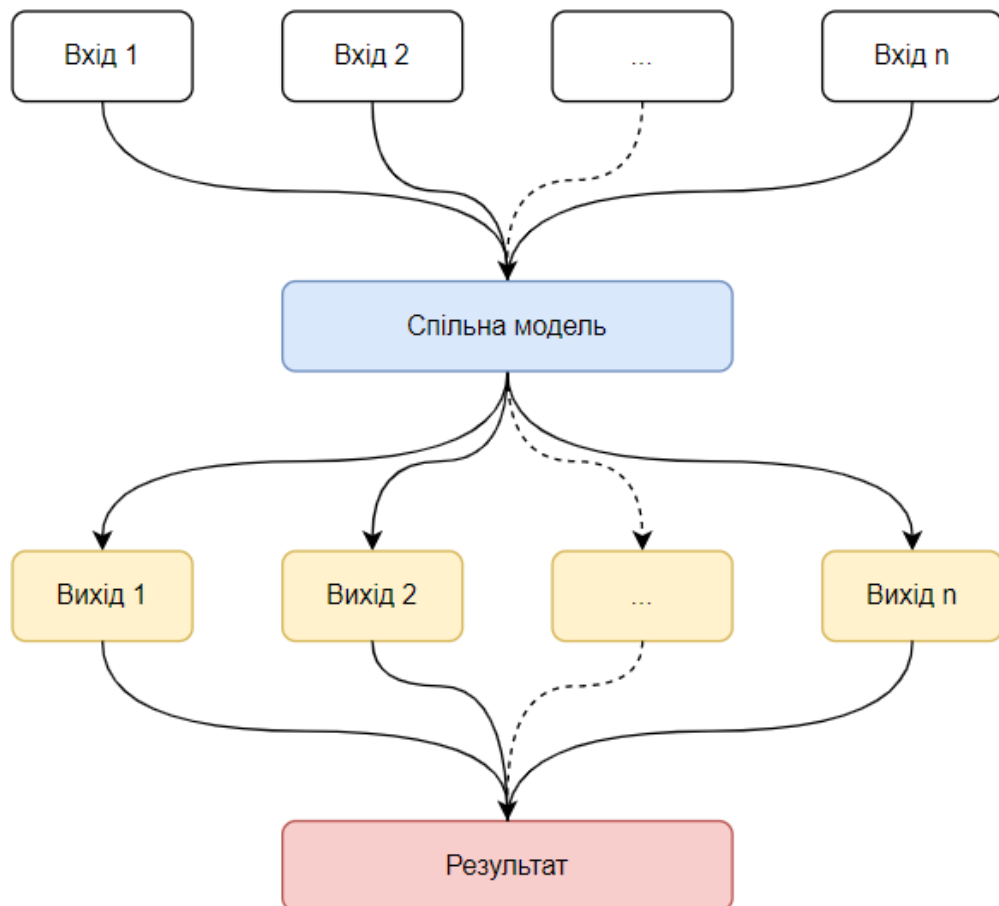


Рисунок 3.3 – Структура спільної моделі

Дані усіх оточуючих транспортних засобів вводяться в спільну модель і отримують свої виходи, на основі цих виходів вже буде формуватися результат.

Як і кожна модель Спільна модель має свої переваги і недоліки, які тим чи іншим способом впливають на запропонований метод. Однією з переваг є те, що використовуючи спільну модель в запропонованому методі можна досягти значної економії ресурсів. Завдяки тому, що використовується спільна мережа не потрібно окремо обробляти модель для кожного входу, що і дозволяє методу зекономити ресурси обладнання. Також перевагою є те, що завдяки спільній моделі можна покращити якість та точність моделі. Поєднання цих переваг дозволяє покращити роботу та надійність запропонованого методу. Але також модель має певні недоліки, наприклад спільна модель має не високу швидкість обробки даних, що може вплинути на швидкість навчання нейронної мережі, що погано вплине на роботу методу. Для усунення недоліків, або ж мінімізації їх впливу було переглянуто різні методи, та способи вирішення цих проблем. Одним з рішень, в результаті цього аналізу, було використання мережі з довгої короткочасною пам'яттю (Long Short-Term Memory – LSTM).

Довга короткочасна пам'ять – це один з видів штучної нейронної мережі яка використовує рекурентну зв'язаність. Така мережа здатна досить ефективно працювати з послідовностями даних. При роботі з даними запропонована мережа зберігає та використовує інформацію та дані з попередніх входів.

Рекурентна нейрона мережа (Recurrent Neural Network – RNN ) це один з видів штучних нейронних мереж, у яких зв'язки між вузлами мають здатність створювати цикли, що у свою чергу дозволяє виходу одного вузла впливати на вхід іншого. Ця здатність дає змогу проявляти моделі певні динамічні поведінки. Рекурентні нейронні мережі дозволяють працювати з часовими рядами, що добре підходить для запропонованого методу, оскільки всі вхідні дані є часовими рядами. Також завдяки тому, що попередні дані впливають наступні вхідні дані, це дозволяє покращити навчання. Схематичний приклад рекурентної мережі зображено на рисунку 3.9 де  $A$  – це приклад мережі,  $h_t$  – це вхід нейронної мережі,  $x_t$  – це вихід нейронної мережі.

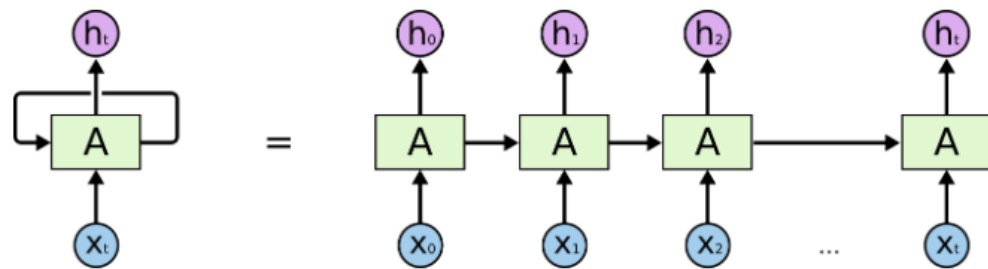


Рисунок 3.4 – Приклад Рекурентної нейронної мережі

Розглянувши рекурентну нейронну мережу, зрозуміло що вона добре підходить для вирішення задач в запропонованому методі, але звичайна рекурентна мережа має певні обмеження, які впливають на швидкість на якість навчання. Одним з таких обмежень є проблема роботи з довгостроковими залежностями. Розглянемо приклад коли рекурентна нейронна мережа має передбачити останнє значення в числовому ряді.

Якщо цей ряд має коротку довжину, наприклад в 10 комірок, і залежності розміщені на невеликій відстані одна від одної, то рекурентна мережа з легкістю зможе обробити та проаналізувати дані та передбачити наступне значення. Але якщо розглядати складніші приклади коли часові ряди мають набагато більшу довжину, і коли залежності розміщуються на великій відстані одна від одної, в такому випадку рекурентній мережі вже важко передбачити останнє значення, оскільки вона вже не може обробити дані які знаходяться на великій відстані один від одного.

В цьому і заключається недолік простої рекурентної нейронної мережі, чим більший розрив між релевантною інформацією та точкою де вона використовується тим гірша здатність мережі до навчання, і саме через це було вибрано мережу з довгою короткочасною пам'яттю, оскільки вона вирішує цю проблему. Мережі LSTM спеціально розроблені, щоб уникнути проблеми довгострокової залежності. Запам'ятовування інформації протягом тривалого періоду часу – це практично їх поведінка за замовчуванням, а не одна з проблем яка впливає на навчання.

Розглянемо відмінності звичайної рекурентної мережі та мережі LSTM. Як було описано раніше усі нейрони мережі мають вигляд ланцюжка повторюваних модулів нейронної мережі. У звичайних рекурентних мережах модулі будуть мати досить просту структуру. Приклад такої модуля зображено на рисунку 3.10 де можна побачити, що модуль містить тільки один шар  $\tanh$ .

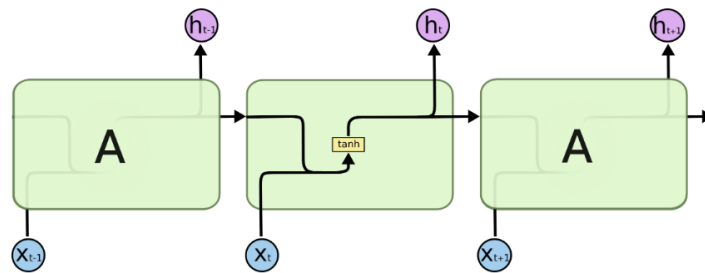


Рисунок 3.5 – Приклад повторюваного модуля звичайної рекурентної мережі

Якщо розглядати мережу LSTM, то вона також має повторювані модулі, але вони мають набагато складнішу структуру ніж в звичайні мережі. В LSTM мережі модуль містить може містити декілька шарів одночасно, приклад шару зображено на рисунку 3.11, де повторюваний модуль містить 4 шари одночасно.

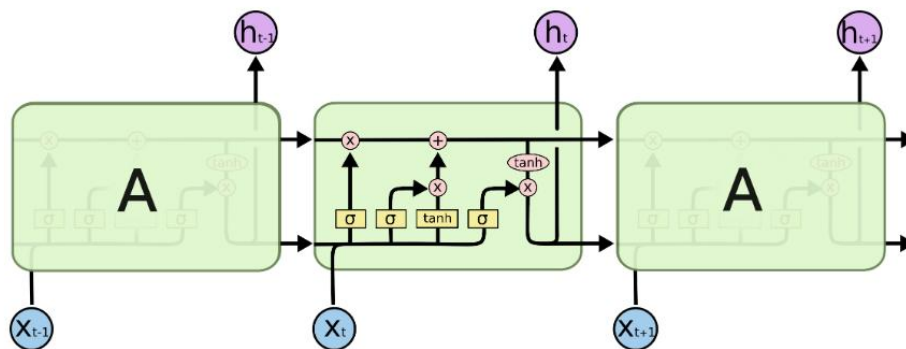


Рисунок 3.6 – Приклад повторюваного модуля LSTM мережі

Саме ця складніша структура в LSTM мережі надає можливість працювати з довгостроковими залежностями, і підносить рекурентну нейронну мережу на інший рівень.

Висновок: обрані тип нейронної мережі та модель даних добре підходить для запропонованого методу. Оскільки спільна модель оптимізує роботу методу, а довга короткочасна пам'ять дозволяє працювати з часовими рядами, та з довгостроковими залежностями.

### 3.4 Виявлення пріоритетної цілі

Як було описано раніше запропонований методу буде приймати за вхідні дані часові ряди, це є першим кроком в визначенні пріоритетної цілі. Надійшовши вхідні дані будуть надходити до спільної мережі, але перед цим дані будуть надходити спочатку в довгу короткочасну пам'ять, де будуть оброблятися і передаватися до наступного кроку. Наступним кроком буде вже безпосереднє порівняння транспортних засобів. На цьому кроці, запропонований метод буде порівнювати транспортні засоби, буде визначати який транспортний засіб є пріоритетним для його вибору як цілі для адаптивного круїз контролю. Було проведено ряд досліджень, з різними принципами порівняння транспортних засобів, і в результаті було обрано принцип який буде попарно порівнювати інформацію про транспортні засоби.

Саме порівняння та визначення цілі буде базуватися на основі даних отриманих з датчиків автомобіля. Є ряд основних показників які відслідковуються запропонованим методом, але одні з основних показників це швидкість та положення транспортного засобу.

Розглянемо саме положення транспортного засобу, оскільки швидкість є менш важливою при визначенні основної цілі. За положення транспортного засобу в запропонованому методі відповідає такий показник як "Ідентифікатор смуги". Запропонований метод задає цей показник на основі смуги на якій розміщується транспортний засіб. Кожна смуга має свій коефіцієнт, приклад формування цих коефіцієнтів зображено на рисунку 3.12.

Відправною точкою слугує смуга на якій знаходиться автомобіль на якому використовується адаптивний круїз контроль. Значення цього ідентифікатора

смуги буде дорівнювати нулю. Якщо транспортний засіб буде знаходитися точно ліворуч від автомобіля з круїз контролем, то значення його ідентифікатора смуги буде дорівнювати від'ємному значенню, а саме -1, -2 і так далі.

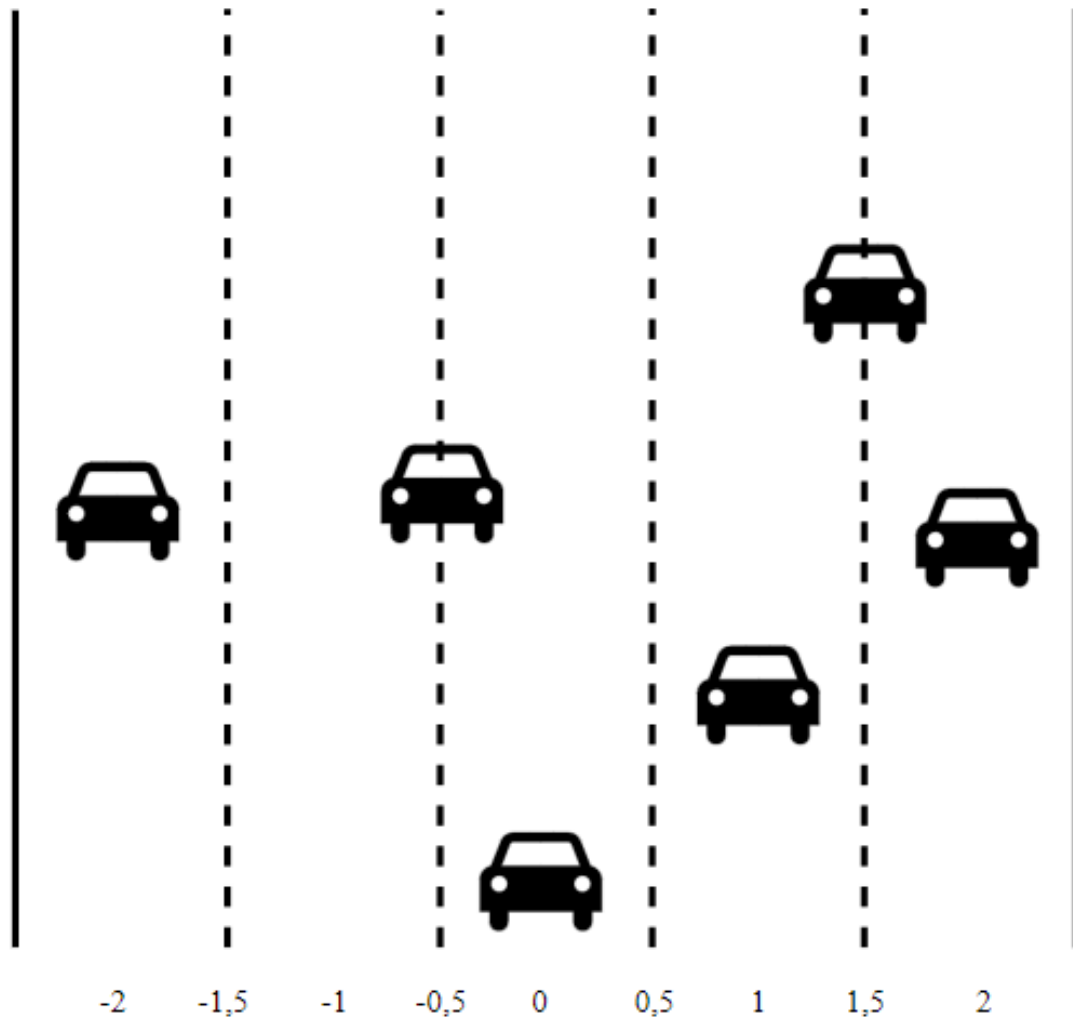


Рисунок 3.7 – Приклад визначення коефіцієнту смуги

Якщо ж транспортний засіб буде знаходитися точно праворуч, то ідентифікатори смуги будуть додатні. Але транспортні засоби не завжди знаходяться в одній смугі, вони можуть змінювати своє положення, тому для таких ситуацій були введені і проміжні значення.

До прикладу, якщо транспортний засіб переміщується з крайньої правої смуги, ідентифікатор якої дорівнює 2, в праву смугу, ідентифікатор якої дорівнює

1, тоді ідентифікатор смуги даного транспортного засобу буде в межах від 1 до 2. Приклад як визначається коефіцієнт смуги зображено на рисунку 3.13.

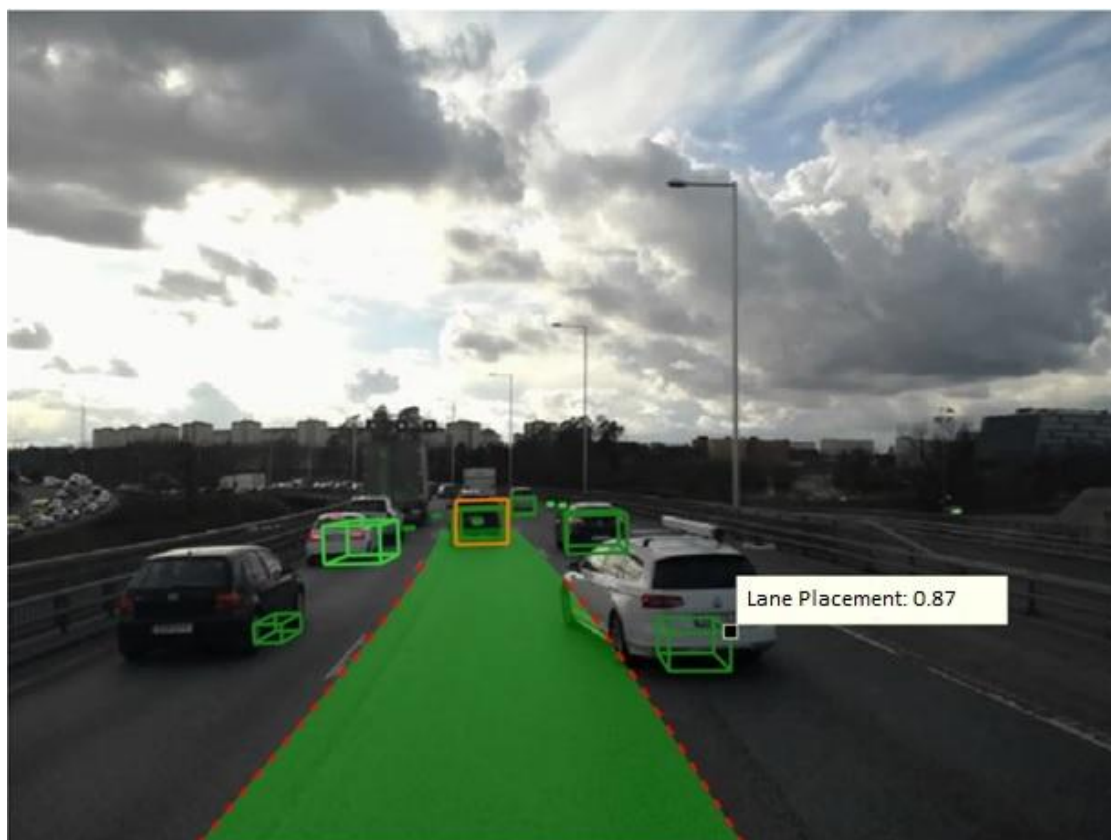


Рисунок 3.8 – Приклад визначення коефіцієнта смуги

Як видно на рисунку 3.10 білий автомобіль змінює свою смугу переміщуючись з правої смуги в центральну, на якій знаходиться автомобіль з круїз контролем. Як зображено на рисунку ідентифікатор смуги білого автомобіля дорівнює 0.87, цей результат зумовлений тим, що білий автомобіль переміщується з правої смуги, ідентифікатор якої дорівнює 1, в смугу до автомобіля з круїз контролем, ідентифікатор цієї смуги нуль, тому значення знаходиться в проміжку між нулем і одиницею.

За основу перевірки було взято попарну перевірку транспортних засобів, в основі якої лежить конкатенація даних. Конкатенація це об'єднання двох матриць або векторів, для отримання одного загального вектору чи матриці. При порівнянні цілей конкатенація використовується для поєднання даних з числових

рядів кожного транспортного засобу, результатом конкатенації є вектор з даними обох транспортних засобів які порівнюється. Отриманому в результаті конкатенації вектору присвоюється значення одиниці або нуля в залежності від того яка співвідношення краще, і яку ціль краще вибрати як основну. Конкатенацію яка використовується в запропонованому методі можна описати формулою 3.3.

$$target = arg_{i \neq j} max \sum f(x_i \oplus x_j), \quad (3.3)$$

де  $f$  – це модель машинного навчання,

$\oplus$  - це знак конкатенації

$x$  – це вектор даних

$i, j$  – це ідентифікатори транспортних засобів

Основною ціллю вибраною в кожен момент, є транспортний засіб із найбільшою сумою виходів при конкатенації, де результат дорівнює одиниці.

Розглянемо приклад на рисунку 3.14.

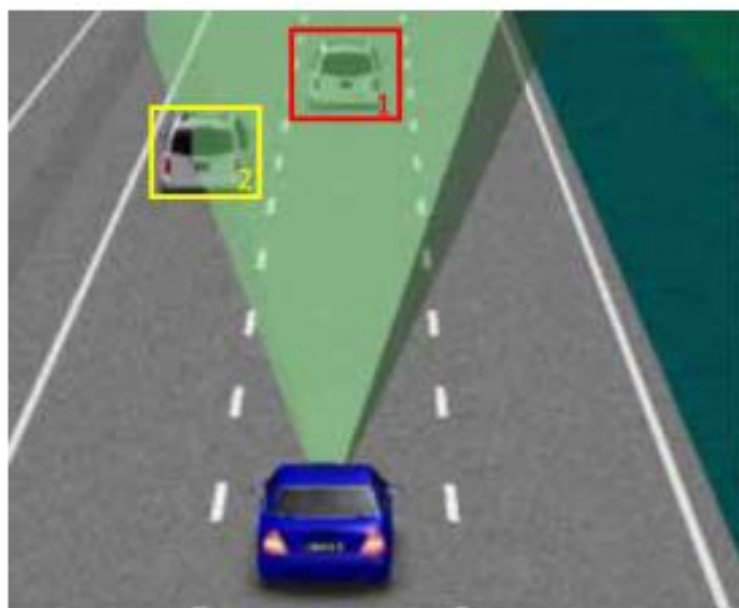
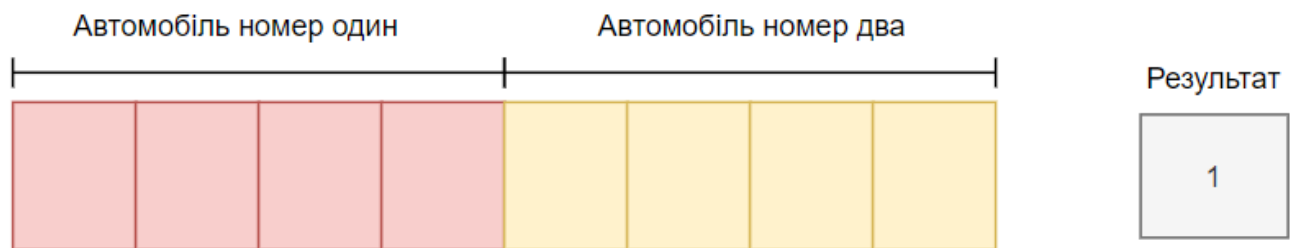


Рисунок 3.9 – Приклад порівняння транспортних засобів

На рисунку 3.9 зображено 3 автомобіля. Синій автомобіль, це автомобіль на якому використовується круїз контроль, автомобіль номер два в жовтій рамці не головна ціль, автомобіль номер один в червоній рамці це головна ціль обрана адаптивним круїз контролем. Для визначення головної цілі в цій ситуації, попарно порівнювалося два автомобіля, і в результаті перевірки було обрано автомобіль в червоній рамці. При цій перевірці виконуються наступні кроки. Спочатку порівнювався автомобіль номер один з автомобілем номер два, за допомогою конкатенації було об'єднано дані цих двох автомобілів і в результаті конкатенації і оцінки цього вектору йому присвоєлося значення одиниці, рисунок 3.10(а), далі було порівняно автомобіль номер два з автомобілем номер один, в результаті конкатенації отриманому вектору було присвоєно значення нуль, рисунок 3.10(в). Оскільки результатом першого порівняння була одиниця, то за головну ціль було вибрано автомобіль номер один, і як зображено на рисунка цей автомобіль знаходиться в більш значущій позиції для синього автомобіля ніж автомобіль номер два.



(а)



(в)

Рисунок 3.10 – Результат попарної перевірки двох автомобілів

Але в реальній ситуації транспортні засоби можуть змінювати своє положення на дорозі, і це може впливати на вибір основної цілі. До прикладу ситуація зображена на рисунку 3.10. Як видно рисунок 3.10(а) схожий до попереднього прикладу, і на ньому для основної цілі круїз контролю вибрано автомобіль номер один, але як видно з ситуації 1.11(в) транспортний засіб номер два змінив своє положення і тепер ймовірність вибору цього транспортного засобу зростає.

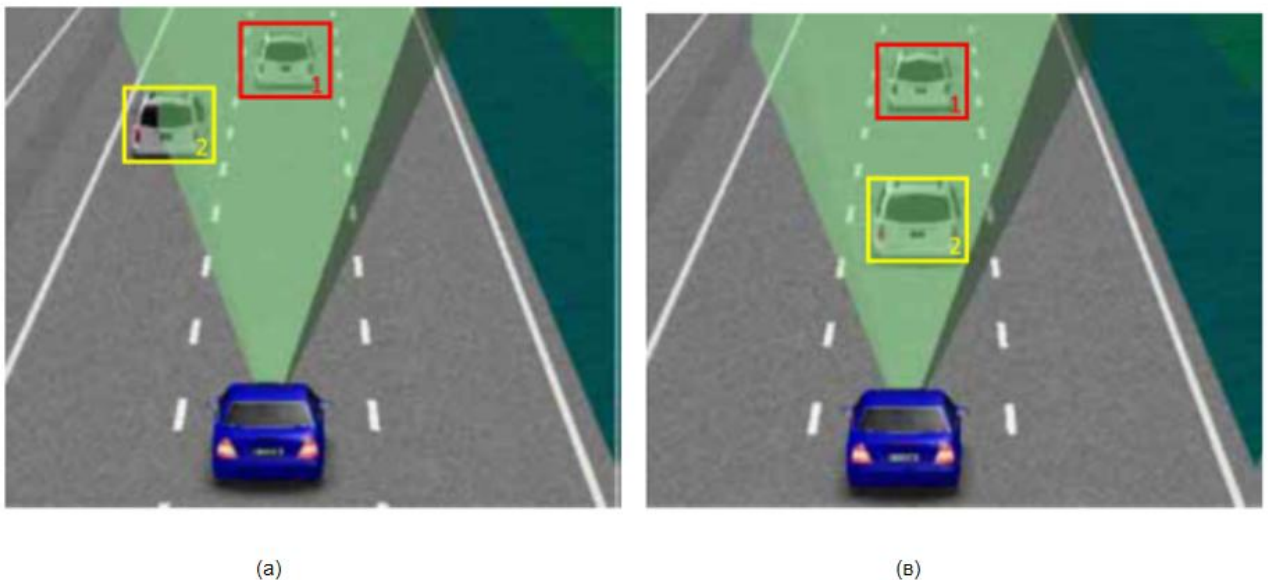


Рисунок 3.11 – Приклад ситуація впливу положення транспортного засобу на визначення основної цілі адаптивного круїз контролю.

Саме через те, що в реальних ситуаціях можуть зустрічатися випадки коли транспортні засоби змінюють своє положення, що безпосередньо може впливати на визначення головної цілі адаптивного круїз контролю, потрібно враховувати співвідношення між транспортними засобами, а в ідеалі потрібно розглядати співвідношення між усіма транспортними засобами. Тому і було обрано спосіб попарної перевірки усіх транспортних засобів, оскільки це є одним з оптимальних способів для визначення найкращої цілі для адаптивного круїз контролю.

Але у процесі керування транспортним засобом бувають ситуації коли не потрібно вибирати основну ціль. Якщо не має транспортного засобу який можна вибрати як основну ціль, то не має потреби використовувати адаптивний круїз контроль, і не потрібно зберігати часові ряди інформацією про навколишні транспортні засоби. Тому одним з важливих кроків є прийняття рішення про необхідність вибору цілі. Для прийняття цього рішення було запропоновано наступний алгоритм. Спочатку попарно порівнюються усі навколишні транспортні засоби, щоб визначити пріоритетну ціль, а потім ще додатково порівнюється обрана ціль з самим транспортним засобом де використовується адаптивний круїз контроль, і якщо цей результат менший чим задане порогове значення, то приймається рішення про те, що в даний момент часу основну ціль не потрібно обирати. Схематичний приклад наведений на рисунку 3.17.

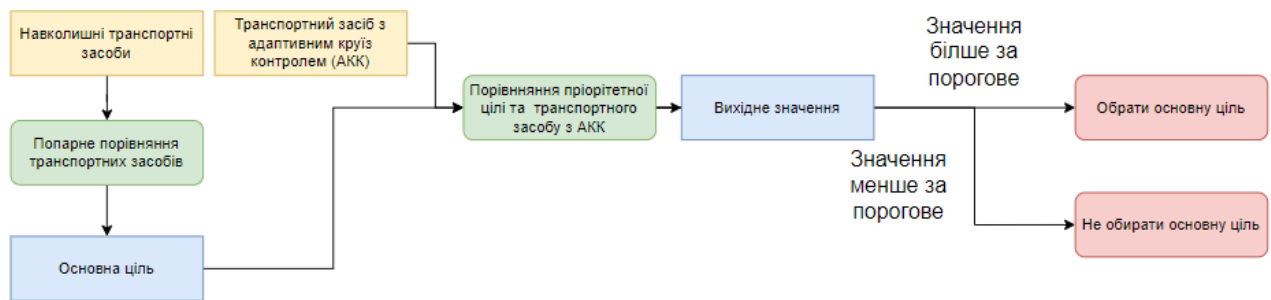


Рисунок 3.12 – Схематичний приклад прийняття рішення про вибір основної цілі

### 3.5 Висновки

Запропоновано метод виявлення цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля. Метод базується на основі рекурентної нейронної мережі типу довгої короткочасної пам'яті з використанням спільної моделі. Запропонований метод дозволяє опрацьовувати інформацію про навколишні транспортні засоби, яка надходить у вигляді часових рядів, порівнювати їх дані між собою, та в результаті перевірки надавати транспортний засіб який найкраще підходить як основна ціль адаптивного круїз контролю. Задля забезпечення чіткої роботи методу, і

запобігання різноплановості даних було введено такі поняття як нормалізація та підміна. Для оптимізації ресурсів було вирішено використовувати спільну модель для усіх транспортних засобів. Також за основу машинного навчання було обрано рекурентну нейронну мережу, а саме мережу довгої короткочасної пам'яті. Також було введено перевірку на необхідність вибору основної цілі, щоб охопити більший об'єм ситуацій які можуть виникнути в реальних умовах.

В результаті поєднання усі вище перерахованих особливостей, було розроблено метод який може підлаштовуватися під різні реальні ситуації, здатний опрацьовувати часові ряди за довготривалі періоди, порівнювати навколишні транспортні засоби, і в результаті обирати транспортний засіб який найкраще підходить на роль основної цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля.

## 4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

### 4.1 Структура системи адаптивного круїз контролю

На основі запропонованого методу який базується на основі машинного навчання з використанням рекурентної нейронної мережі типу довгої короткочасної пам'яті в поєднанні з спільною моделлю транспортних засобів розроблено систему адаптивного круїз контролю.

Узагальнена структура запропонованої системи адаптивного круїз контролю зображена на рисунку 4.1.

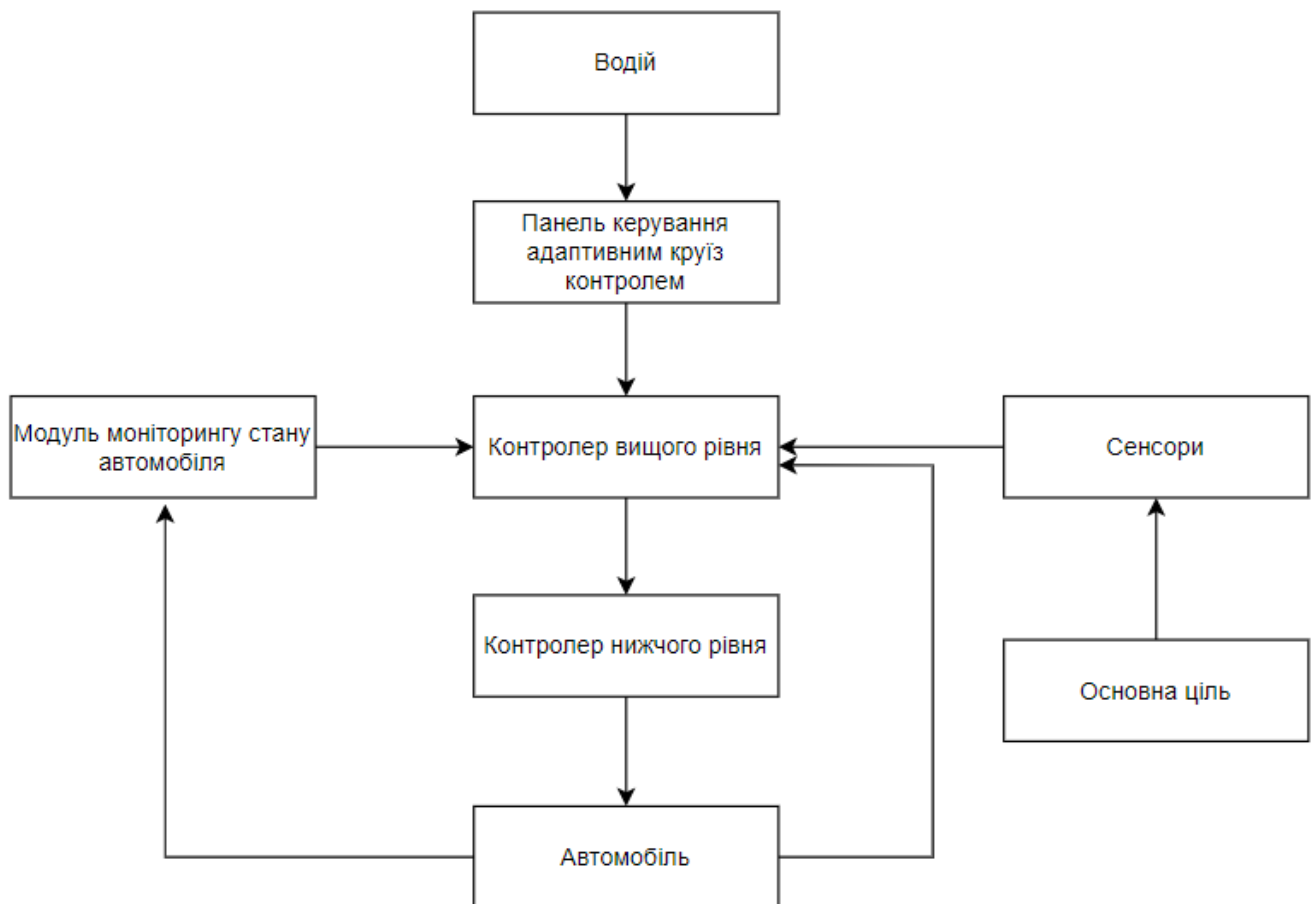


Рисунок 4.1 – Узагальнена схема адаптивного круїз контролю

Запропонована система складається з панелі керування адаптивного круїз контролю, контролерів вищого та нижчого рівнів, модуля моніторингу стану

автомобіля та сенсорів. Панель керування використовується для налаштувань круїз контролю. Панель керування відповідає за такі функції як увімкнення/вимкнення круїз контролю, задання бажаної максимальної швидкості, обмеження швидкості діє тільки тоді коли жодний транспортний засіб не обраний як основна ціль.

Контролер вищого рівня відповідає за обробку та аналіз вхідних даних, оцінює та порівнює навколишні транспортні засоби та обирає основну ціль.

На основі вибраної цілі формує необхідні стани транспортного засобу, і надсилає сигнали для зміни швидкості руху транспортного засобу. Усі сигнали які надсилає контролер верхнього рівня надходять на контролер нижнього рівня. Даний контролер відповідає керування основними системами автомобіля. В його роботу входить керування двигуном, трансмісією, системою гальм.

Саме цей блок здійснює безпосереднє гальмування чи прискорення автомобіля. Оскільки навколишня ситуація щоразу змінюється, результат який повернув контролер вищого рівня може не відповідати реальній ситуації.

Наприклад нахил дороги, аеродинамічний опір, тощо, все це може впливати на швидкість та стан транспортного засобу який використовує адаптивний круїз контроль. Для врахування цих непередбачуваних ситуацій використовується модуль моніторингу стану автомобіля.

Цей модуль обробляє зворотні сигнали автомобіля, і безпосередньо працює з такими зворотніми сигналами як кутова швидкість коліс, прискорення, і на основі цих даних оцінює невимірювані велечини, такі як нахил дороги, чи аеродинамічний опір. У результаті поєднання усіх вище перелічених модулів і формується система адаптивного круїз контролю, яка оцінює навколишню ситуацію, обирає основну ціль і на основі станів основної цілі надсилає сигнали для керування швидкістю транспортного засобу, також оцінює невимірювані велечини, і вносить правки до швидкості автомобіля.

4.2 Інтеграція програмного-технічного засобу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля систему автомобіля.

Як зображено на рисунку 4.1 основними модулями системи адаптивного круїз контролю є контролери вищого на нижчого рівнів.

Контролер вищого рівня базується на основі запропонованого методу визначення цілі, і виконує основну роботу з аналізу вхідних даних і передачі необхідних сигналів в наступні модулі, і вважається базовою складовою цієї системи.

Але також і контролер нижчого рівня відіграє велику роль запропонованій системі, оскільки саме він поєднує системи та модулі автомобіля з системою адаптивного круїз контролю.

Основними компонентами з якими працює запропонована система є двигун, система гальм, та трансмісія автомобіля. На рисунку 4.3 схематично зображено розміщення системи адаптивного круїз контролю, та взаємодію цієї системи з компонентами автомобіля.

Першими компонентами з яким взаємодіє запропонована система круїз контролю є двигун та трансмісія автомобіля, це зумовлене тим, що основною задачею адаптивного круїз контролю є регулювання швидкості автомобіля, і в більшості випадків достатньо надсилати сигнали до двигуна автомобіля щоб змінювати швидкість автомобіля.

Вхідні дані які надходять в контролер двигуна це бажаний крутний момент, який розраховується запропонованою системою за допомогою контролера вищого рівня і передається безпосередньо до модуля двигуна за допомогою контролера нижчого рівня.

Вихідними ж даними є фактичне значення крутного моменту який передається на колеса.

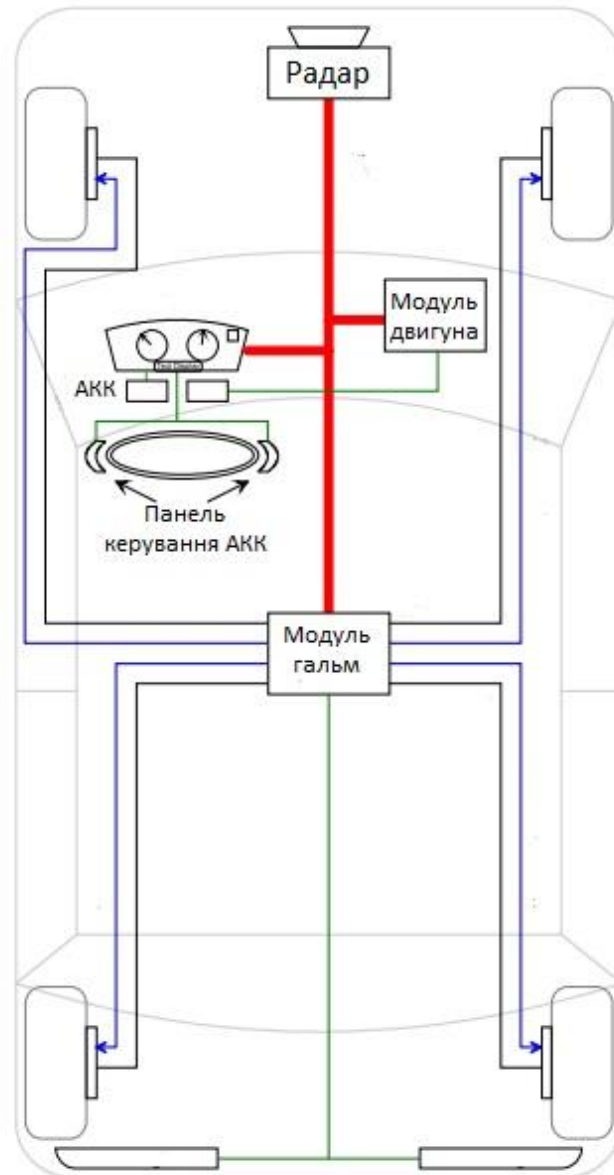


Рисунок 4.2 – Схема взаємодії компонентів автомобіля з системою адаптивного круїз контролю.

Під час передачі даних з контролера нижнього рівня до модуля двигуна, він змінює швидкість крутного моменту, далі цей крутний момент передається до трансмісії і вже потім надходить безпосередньо до коліс автомобіля. Трансмісія під час передачі крутного моменту змінює його за допомогою набору шестернів, це відбувається через те що крутний момент двигуна є обмежений у величині, і напряду його передати до коліс не можна, оскільки потужності звичайного

крутного моменту двигуна не вистачить. Крутний момент який передається на колесо можна відобразити формулою (рівняння 4.1).

$$T_{wheel} = \frac{1}{R} \tau_t, \quad (4.1)$$

де  $R$  – це передавальний крутний момент

Наступним модулем з яким взаємодіє запропонована система є гальма. Зазвичай для гальмування також використовується двигун. Якщо основна ціль адаптивного круїз контролю сповільнюється, то запропонована система буде передавати сигнали на двигун і зменшувати крутний момент двигуна, що і буде зменшувати швидкість автомобіля з адаптивним круїз контролем. Але цього може бути не достатньо, наприклад якщо основна ціль різко гальмує, або наприклад вона повністю зупиняється, в такому випадку використання гальм просто необхідне. В таких випадках запропонована система адаптивного круїз контролю буде надсилати крім основного сигналу на модуль двигуна, ще додатково сигнал на модуль гальм. Надсилаючи сигнал в модель керування гальмами система передає значення тиску в системі гальм, чим регулює інтенсивність гальмування.

Крім контролерів вищого та нижчого рівнів, які виконують контроль над автомобілем, системі адаптивного круїз контролю потрібний інтерфейс, та панель керування роботою круїз контролю. Як видно з рисунку 4.2 панель керування та інтерфейс адаптивного круїз контролю розміщений безпосередньо біля керма, та панелі приборів. В запропонованій системі адаптивного круїз контролю водій може керувати такими параметрами як безпечна відстань, та бажана швидкість транспортного засобу. Для цього на кермо транспортного засобу додається два перемикачі, які дозволяють регулювати ці два параметри. Також крім цього на панель приборів додається кнопка увімкнення вимкнення адаптивного круїз контролю. Крім кнопок керування для водія виводиться актуальна інформація про стан адаптивного круїз контролю, обрані значення безпечної відстані, та рекомендованої швидкості автомобіля, ці значення виводяться в районі

спідометра автомобіля, щоб вони були легко доступні, та водію було зручно їх помітити.

4.3 Моделювання роботи програмно-технічного засобу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля.

Для моделювання програмно-технічно засобу вибору цілей для адаптивного круїз-контролю автомобіля, на базі запропонованого методу визначення основної цілі, було обрано програму Matlab. Matlab – це програмне забезпечення розроблене американською корпорацією MathWorks, і дозволяє будувати графіки функцій, маніпулювати матрицями, реалізовувати алгоритми. Не зважаючи на те, що в своїй сутності Matlab створювався більше для математичних розрахунків, він має безліч додаткових інструментів які дозволяють виконувати різноманітні задачі, в тому числі і для запропонованої системи адаптивного круїз контролю було використано додатковий пакет Simulink. Simulink – це додатковий пакет інструментів для Matlab який додає можливість графічного багатодоменого моделювання та включає в себе моделювання на основі моделі для вбудованих або динамічних систем.

Під час дослідження можливостей Matlab було проаналізовано значну кількість бібліотек та модулів, які б дозволяли в повній мірі реалізувати та змоделювати роботу системи адаптивного круїз контролю. В результаті досліджень було обрано бібліотеку «Model Predictive Control Toolbox / Automated Driving». Це бібліотека надає додаткові функції та блоки для Simulink, і дозволяє створювати моделі прогнозованого керування. Одними з основних блоків в цій бібліотеці є «Lane Keeping Assist System», «Path Following Control System», «Adaptive Cruise Control System». Кожний з цих блоків дозволяє симулювати функціонал системи адаптивного круїз контролю, і було розглянуто кожний з цих блоків як основу на якій буде будуватися запропонована система адаптивного круїз контролю.

«Lane Keeping Assist System» це блок який призначений для симуляції роботи системи утримування транспортного засобу на смузі, яка регулює кут повороту керма, та відстежує рух транспортного засобу по прямій або вигнутій дорозі. Цей контролер зменшує поперечне відхилення а також відносний кут повороту автомобіля відносно центру смуги руху автомобіля.

Блок має здатність обчислити оптимальні дії керування, задовольняти обмеження кута повороту керма використовуючи модель прогнозованого керування. Вигляд цього блоку зображено на рисунку 4.3.

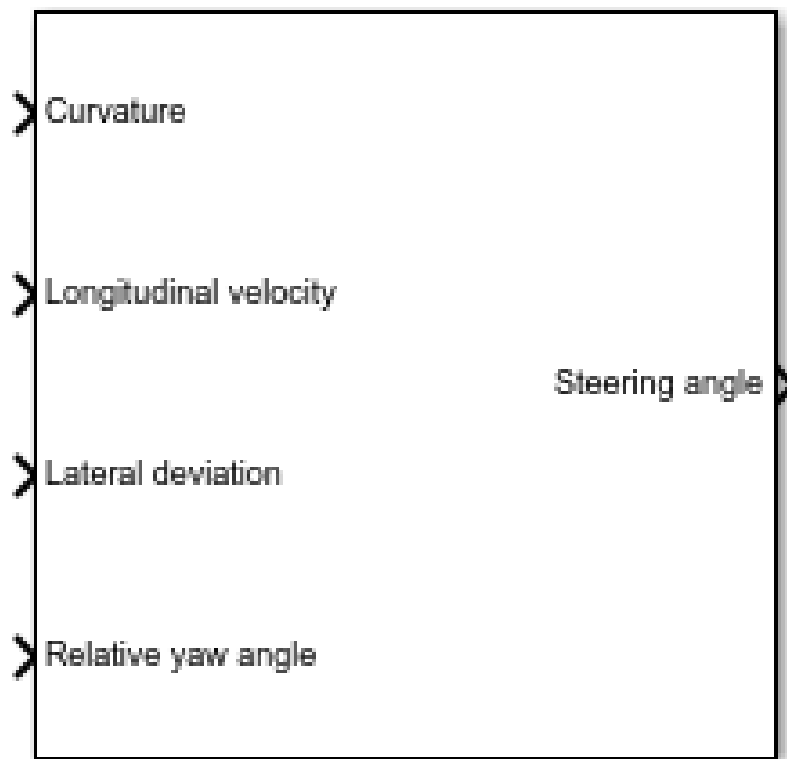


Рисунок 4.3 – Блок «Lane Keeping Assist System»

Блок «Lane Keeping Assist System» містить в собі 4 входи, та один вихід. Також додатково для роботи блоку потрібно задати ще 4 вхідних сталих параметрів.

Опис входів та виходів цього блоку наведені в таблиці 4.1.

В даному блоці для позначення автомобілю з встановленим модулем «Lane Keeping Assist System» використовується назва «ego car».

Таблиця 4.1 – Опис входів та виходів блоку «Lane Keeping Assist System»

Входи	
Curvature	Значення кривизни дороги. Значення кривизни дороги визначається як $1/R$ , де $R$ це радіус дороги. Цей вхід може приймати, або скалярний сигнал, або векторний
Longitudinal velocity	Швидкість автомобіля «ego»
Lateral deviation	Відхилення транспортного засобу від осьової лінії
Relative yaw angle	Кут поздовжньої осі автомобіля «ego» від центральної лінії
Minimum steering angle	Обмеження мінімального кута повороту
Maximum steering angle	Обмеження максимального кута повороту
Enable optimization	Сигнал дозволу оптимізації контролера
External control signal	Фактичний кут повороту застосований до автомобіля «ego»
Виходи	
Steering angle	Сигнал керування кутом повороту керма

«Path Following Control System» це блок який симулює роботи системи контролю траєкторії, за допомогою якої транспортний засіб рухається по центру кривої чи прямолінійної дороги, відстежуючи задану швидкість і зберігаючи безпечну відстань до транспортного засобу попереду. Для цього контролер регулює як поздовжнє прискорення, так і передній кут повороту автомобіля. Блок обчислює оптимальні дії керування, задовольняючи обмеження, що до швидкості, прискорення, кута повороту. На рисунку 4.4 зображено вигляд блоку «Path Following Control System».

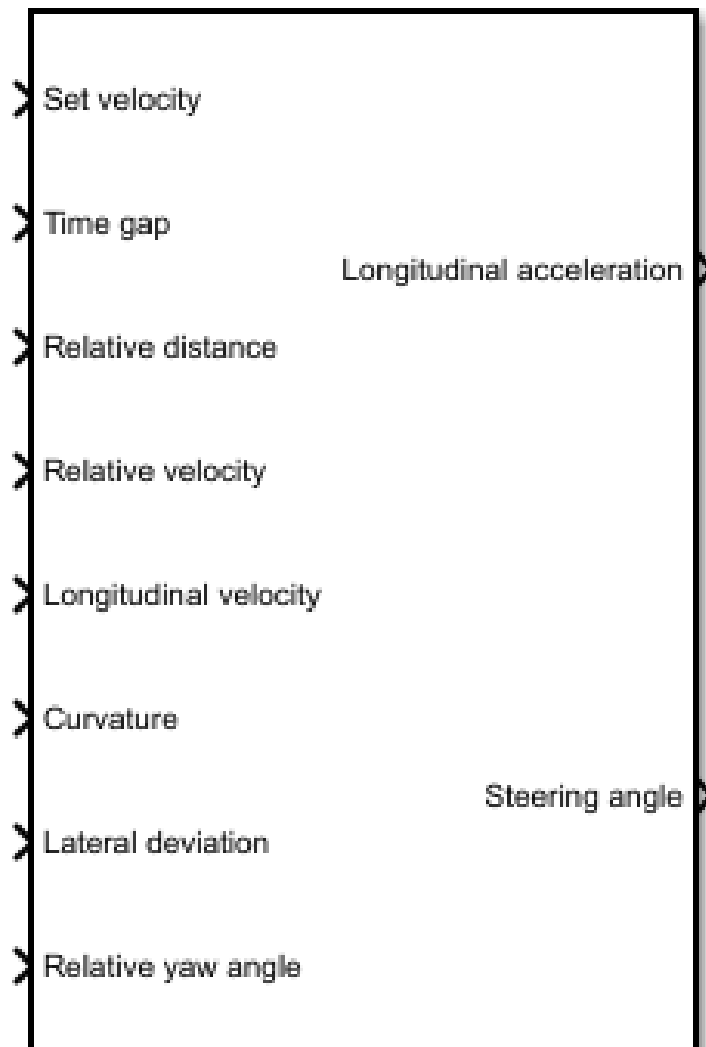


Рисунок 4.4 – Блок «Path Following Control System».

Блок приймає на вхід 14 вхідних параметрів, та повертає два виходи. Опис входів та виходів наведено в таблиці 4.2. В даному блоці для позначення основної цілі використовується назва «lead car», для позначення автомобілю з адаптивним круїз контролем використовується назва «ego car».

Таблиця 4.2 – Опис входів та виходів блоку «Path Following Control System»

Входи	
Set velocity	Задається значення швидкості «ego» автомобіля в м/с, якщо основної цілі не має системою відслідковується це значення
Time gap	Цей вхід відповідає за мінімальний безпечний часовий проміжок між основною цілю та «ego» автомобілем. Це значення використовується для визначення безпечної відстані між автомобілями
Relative distance	Відстань між основною цілю та «ego» автомобілем
Relative velocity	Різниця швидкостей між основною цілю та «ego» автомобілем
Longitudinal velocity	Швидкість автомобіля «ego» в м/с
Curvature	Значення кривизни дороги. Значення кривизни дороги визначається як $1/R$ , де $R$ це радіус дороги. Цей вхід може приймати, або скалярний сигнал, або

	векторний
--	-----------

Кінець таблиці 4.2 – Опис входів та виходів блоку «Path Following Control System»

Lateral deviation	Відхилення транспортного засобу від осьової лінії
Relative yaw angle	Кут поздовжньої осі автомобіля «ego» від центральної лінії
Minimum steering angle	Обмеження мінімального кута повороту
Maximum steering angle	Обмеження максимального кута повороту
Minimum longitudinal acceleration	Обмеження мінімального прискорення автомобіля
Maximum longitudinal acceleration	Обмеження максимального прискорення автомобіля
Enable optimization	Сигнал дозволу оптимізації контролера
External control signal	Фактичний кут повороту застосований до автомобіля «ego»
Виходи	
Longitudinal acceleration	Сигнал керування прискоренням автомобіля
Steering angle	Сигнал керування кутом повороту керма

Даний блок поєднує в собі можливості блоків «Lane Keeping Assist System» та «Adaptive Cruise Control System», та симулює одночасну роботу цих двох системю.

Adaptive Cruise Control System», дозволяє імітувати системи адаптивного круїз контролю. Блок дозволяє імітувати відстеження заданої швидкості, підтримки безпечної дистанції до автомобіля попереду, регулювати поздовжнє прискорення. Блок дозволяє обчислювати дані, змінювати керуючі параметри на основі обмежень які були задані в системі. Вигляд цього блоку зображено на рисунку 4.5.

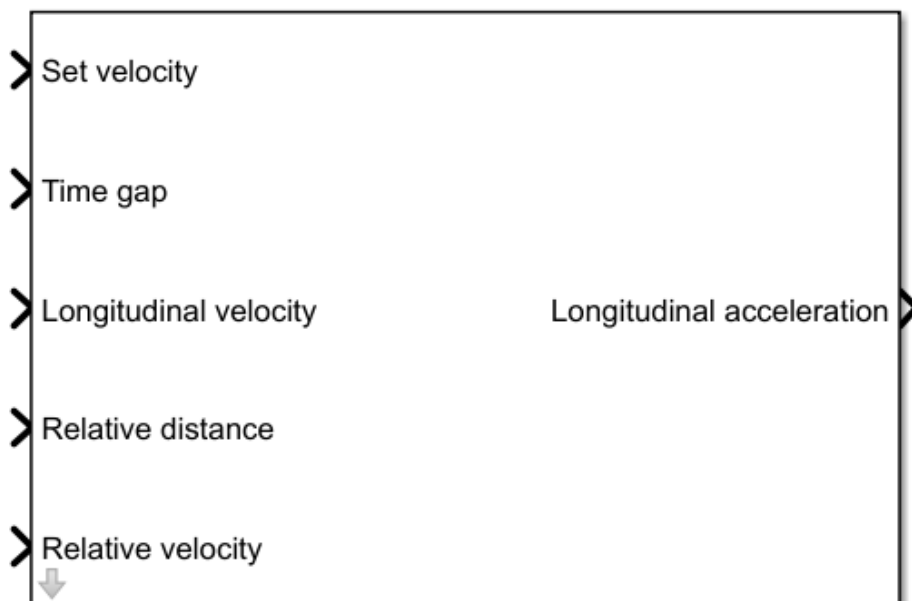


Рисунок 4.5 – Блок Adaptive Cruise Control System в Simulink

Блок «Adaptive Cruise Control System» містить в собі дев'ять входів та один вихід, опис входів та виходів зображено в таблиці 4.1. В даному блоці для позначення основної цілі використовується назва «lead car», для позначення автомобілю з адаптивним круїз контролем використовується назва «ego car».

Таблиця 4.3 – Опис входів та виходів блоку «Adaptive Cruise Control System»

Входи	
-------	--

Set velocity	Задається значення швидкості «ego» автомобіля в м/с, якщо основної цілі не має системою відслідковується це значення
--------------	--

Кінець таблиці 4.3 – Опис входів та виходів блоку «Adaptive Cruise Control System»

Time gap	Цей вхід відповідає за мінімальний безпечний часовий проміжок між основною цілю та «ego» автомобілем. Це значення використовується для визначення безпечної відстані між автомобілями
Longitudinal velocity	Швидкість автомобіля «ego» в м/с
Relative distance	Відстань між основною цілю та «ego» автомобілем
Relative velocity	Різниця швидкостей між основною цілю та «ego» автомобілем
Minimum longitudinal acceleration	Обмеження мінімального прискорення автомобіля
Maximum longitudinal acceleration	Обмеження максимального прискорення автомобіля
Enable optimization	Сигнал дозволу оптимізації сигналу контролера.
External control signal	Фактичне прискорення яке застосоване для автомобіля
Виходи	
Longitudinal acceleration	Сигнал керування прискоренням автомобіля

Для запропонованої системи адаптивного круїз контролю було вирішено використовувати блок «Adaptive Cruise Control System». Основними перевагами даного блоку є те, що за допомогою нього можна симулювати роботу запропонованої системи, також можна продемонструвати роботу запропонованого методу визначення основної цілі для адаптивного круїз контролю. Цей метод дозволить продемонструвати відстеження швидкості автомобіля, підтримку безпечної дистанції до основної цілі, регулюючи прискорення автомобіля. Також було розглянуто блок «Path Following Control System» оскільки він також містить в собі можливості блоку «Adaptive Cruise Control System», але було прийнято рішення не використовувати його, оскільки він містить в собі ще функціонал контролю смуги, що не є пріоритетним для запропонованої системи адаптивного круїз контролю.

#### 4.4 Симуляція роботи запропонованої системи адаптивного круїз контролю.

Схема запропонованої системи адаптивного круїз контролю в Matlab має наступний вигляд, рисунок 4.6

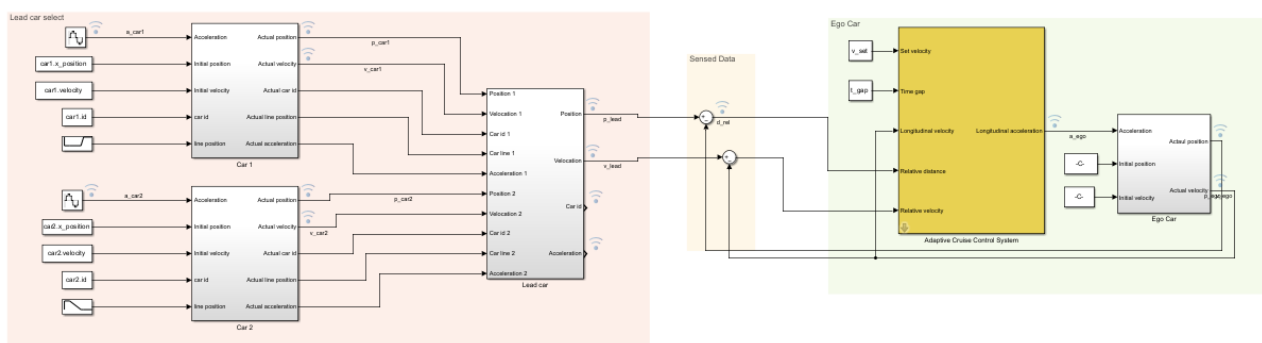


Рисунок 4.6 – Схема системи адаптивного круїз контролю

Умовно вона розділена на три групи, це Lead car select, Sensed Data та Ego Car . Кожна з цих груп відповідає за свій функціонал, і обробку своїх даних.

Група Lead car select відповідає за вибір основної цілі, детальніший вигляд групи зображено на рисунку 4.7.

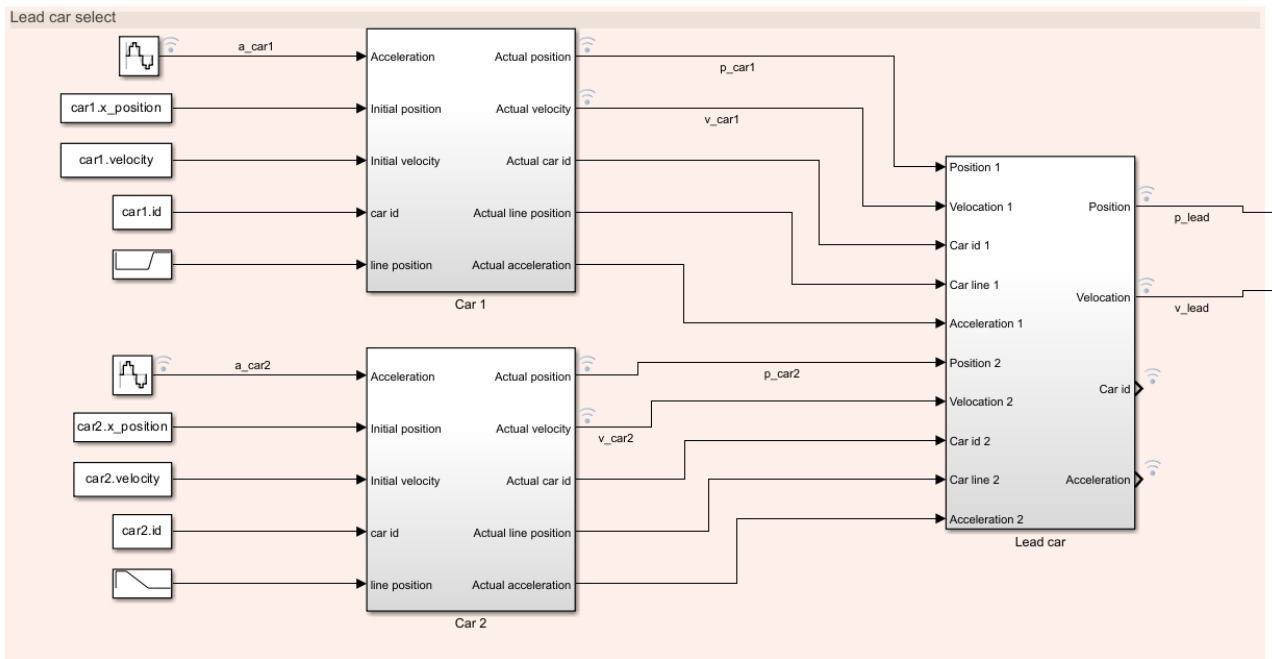


Рисунок 4.7 – Група Lead car select в запропонованій системі адаптивного круїз контролю

В даній групі знаходяться три блоки, «Car 1», «Car 2» та «Lead car». Блок «Car 1» та «Car 2» відповідають за два автомобілі, для симуляції роботи системи було введено лише два оточуючі автомобілі.

Кожний з цих блоків приймає вхідні дані, а саме прискорення (Acceleration), початкову позицію автомобіля (Initial position), початкову швидкість (Initial velocity), ідентифікатор автомобіля (Car id), та смугу розміщення (Line position). За допомогою цих вхідних даних, блок симулює рух автомобіля, з зміною швидкості, відстані та смуги руху, та на виході повертає дані автомобіля в певний момент часу.

Виходами цього блоку є позиція автомобіля в даний момент часу (Actual position), його швидкість (Actual velocity), ідентифікатор (Actual car id), смугу розміщення (Actual line position), та прискорення (Actual acceleration). Детальніше блок зображено на рисунку 4.8.

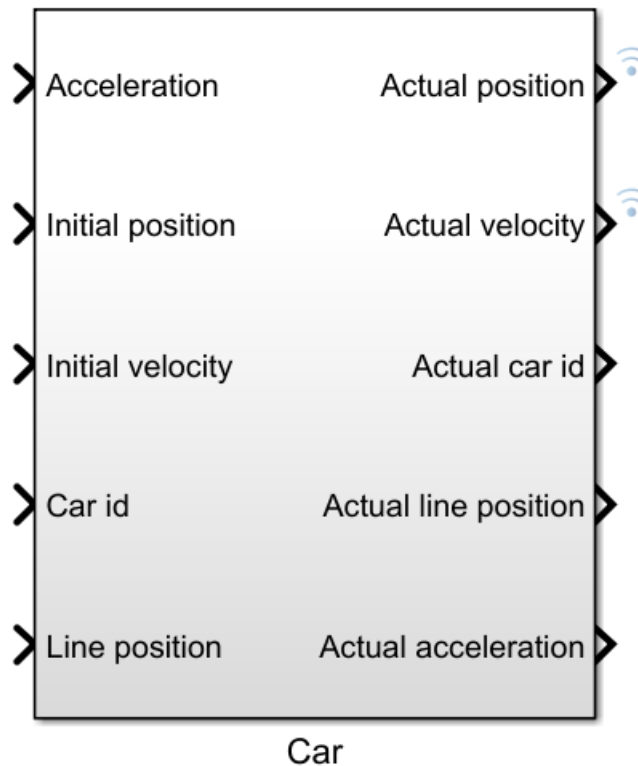


Рисунок 4.8 – Блок «Car» який відповідає за симуляцію руху оточуючих транспортних засобів.

Наступний блок це «Lead car», він приймає та обробляє дані навколишніх автомобілів, та в результаті повертає дані обраної головної цілі. На вхід даний блок приймає дані які є виходами блоків «Car 1» та «Car 2», а саме прискорення(Acceleration), позицію автомобіля(Initial position), швидкість (Initial velocation), ідентифікатор автомобіля(Car id), та смугу розміщення(Line position).

Отримавши дані блок порівнює їх та формує висновок що до того який автомобіль краще вибрати як основну ціль, і в результаті він повертає дані автомобіля який був обраний як основна ціль, виходи данного блоку збігаються з виходами блоків «Car 1» та «Car 2». Після обробки даних значення надходять в наступні групи, для продовження симуляції. Вигляд блоку «Lead car» зображено на рисунку 4.9.

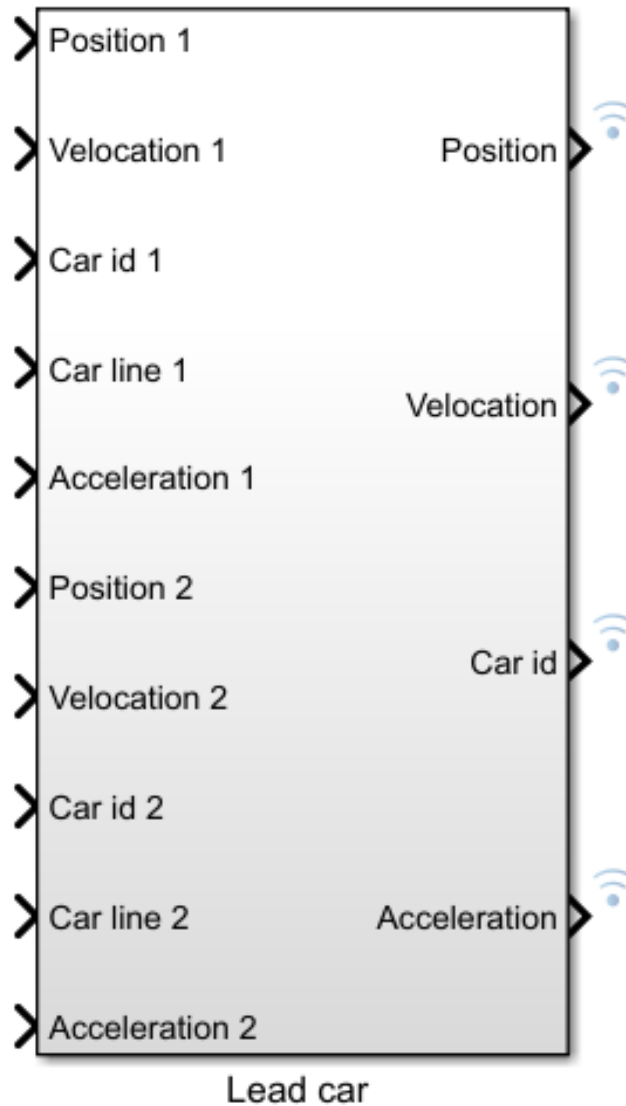


Рисунок 4.9 – Вигляд блоку «Lead car»

Група «Sensed Data» відповідає за симуляцію роботи сенсорів, і генерує відстань між автомобілями, та зчитує швидкість головного автомобіля та автомобіля «ego». В цій групі розміщені два елементи які повертають різницю швидкості та відстані між автомобілями, і вже надають ці дані в наступні блоки та елементи. Вигляд групи «Sensed Data» зображено на рисунку 4.10.

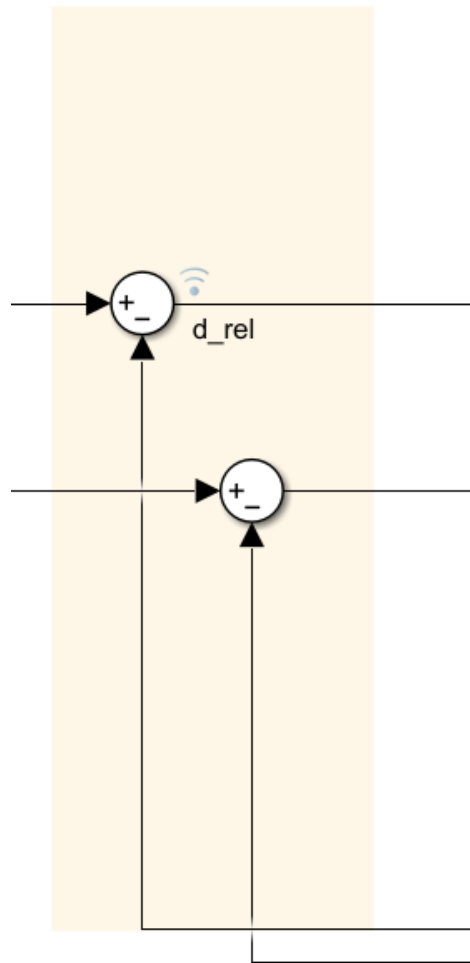


Рисунок 4.10 – Вигляд групи «Sensed Data»

Група «Ego Car» є основною, саме в цій групі знаходиться основний блок «Adaptive Cruise Control System» який приймає, обробляє дані та в результаті вносить корективи в швидкість руху автомобіля «ego». Але крім блоку «Adaptive Cruise Control System» група містить ще блок «Ego Car» який відповідає за симуляцію руху автомобіля з адаптивним круїз контролем. Цей блок на вхід приймає три параметра це прискорення (Acceleration) початкову позицію (Initial position) та швидкість (Initial velocity). Вхідне прискорення є напряду повязане з системою адаптивного круїз контролю, і є виходом блоку «Adaptive Cruise Control System». Вигляд цієї групи зображено на рисунку 4.11.

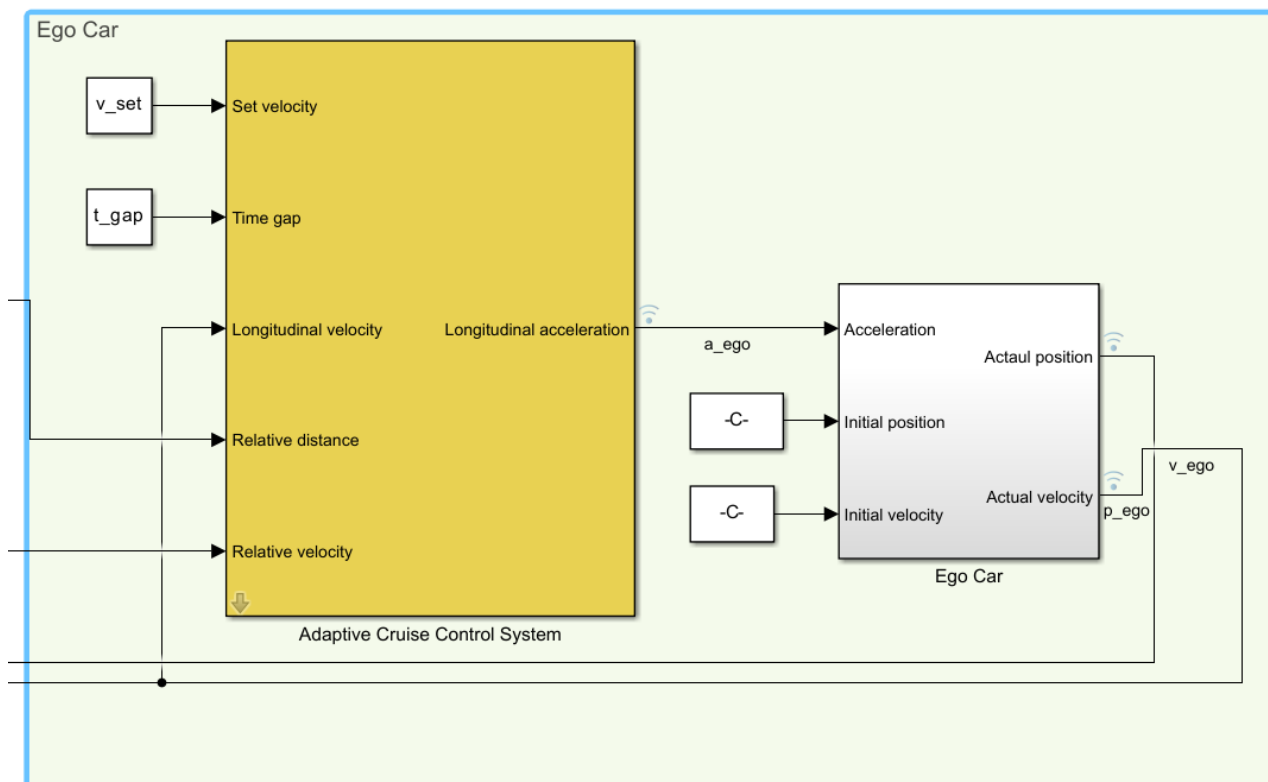


Рисунок 4.11 – Вигляд групи «Ego Car»

Було проведено значну кількість симуляції, з різним набором вхідних значень, в результаті було отримано різні результати які демонструють роботу запропонованої системи адаптивного круїз контролю. На рисунку 4.12 наведено графіки які демонструють роботу запропонованої системи.

Як видно з рисунку 4.12 на 45 секунді було змінено основну ціль з автомобіля номер два на автомобіль номер один, в зв'язку з цією зміною змінилися і швидкість та відстань між автомобілями. Це зміна зумовлена тим, що автомобіль номер один змінив свою смугу руху, а оскільки його швидкість була меншою, змінилася і відстань між автомобілями, і тому автомобілю «ego» довелося гальмувати.

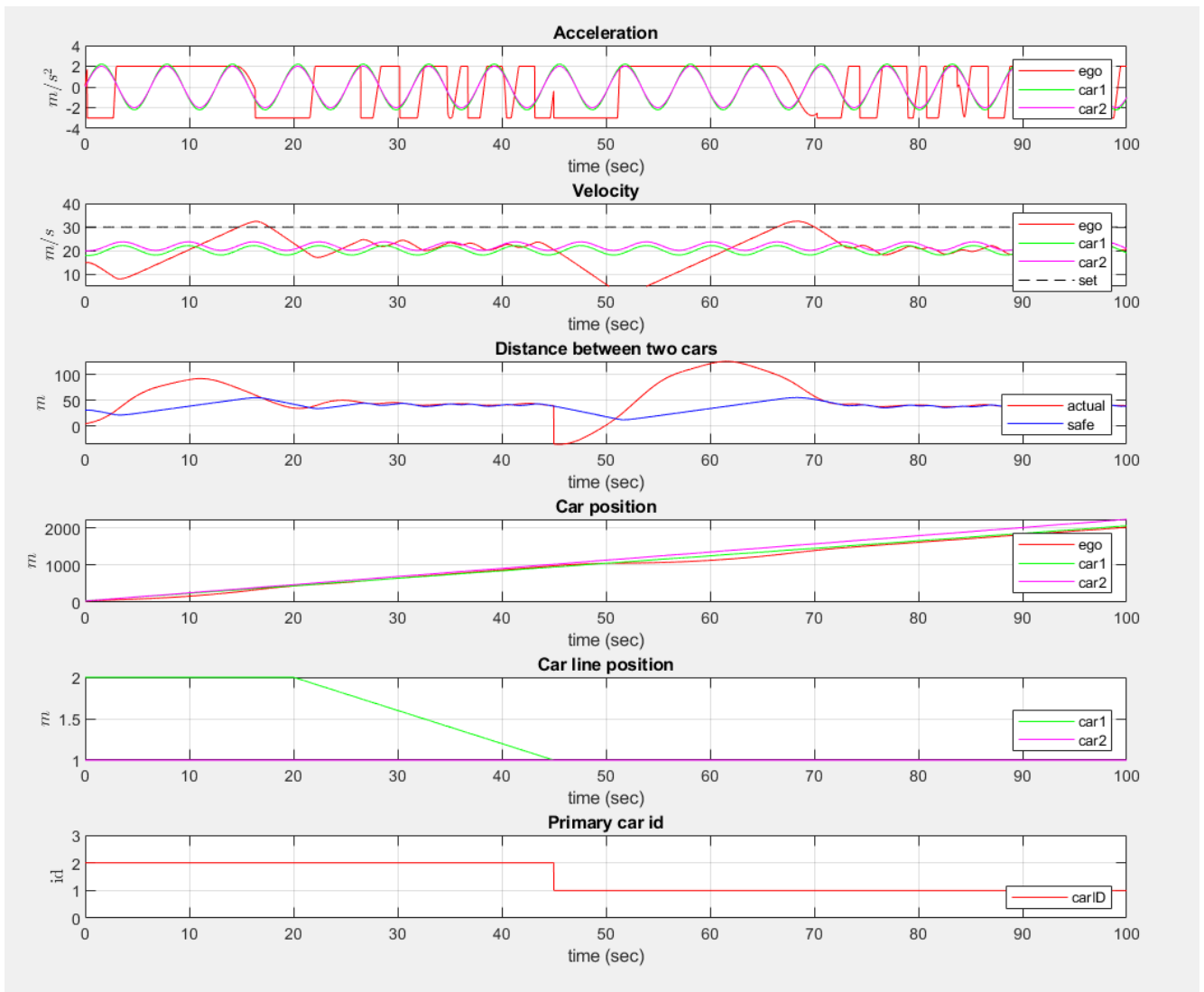


Рисунок 4.12 – Результат роботи запропонованої системи

Як видно на рисунку після 45 секунди відстань між автомобілем «ego» та основною цілю зросла, оскільки автомобіль «ego» гальмував, в зв'язку з цим було і збільшено швидкість автомобіля «ego» до 30 метрів на секунду, це значення є обмеженням максимальної швидкості, і система буде тримати швидкість в межах цього обмеження. Завдяки збільшенню швидкості дистанція між автомобілями поступово зменшувалася, щоб досягти безпечної дистанції, і на останніх кроках відстань дорівнювала заданій в системі безпечній відстані між автомобілями.

Розглянемо ще один приклад, рисунок 4.13

В цьому випадку ситуація трохи інша, спочатку основною цілю було обрано автомобіль під номером один, але після 60 секунди основну цілю було змінено. Як

видно на рисунку автомобіль номер два після 40 секунди змінив своє положення з смуги 2 на смугу один, але оскільки він був попереду автомобіля номер один, тому система не обрала його як основну ціль оскільки автомобіль номер один був пріоритетнішим, але після 60 секунди автомобіль номер один змінив свою смугу руху і в той же момент система змінила основну ціль, що спричинило зміну дистанції між автомобілями і швидкості автомобіля «ego».

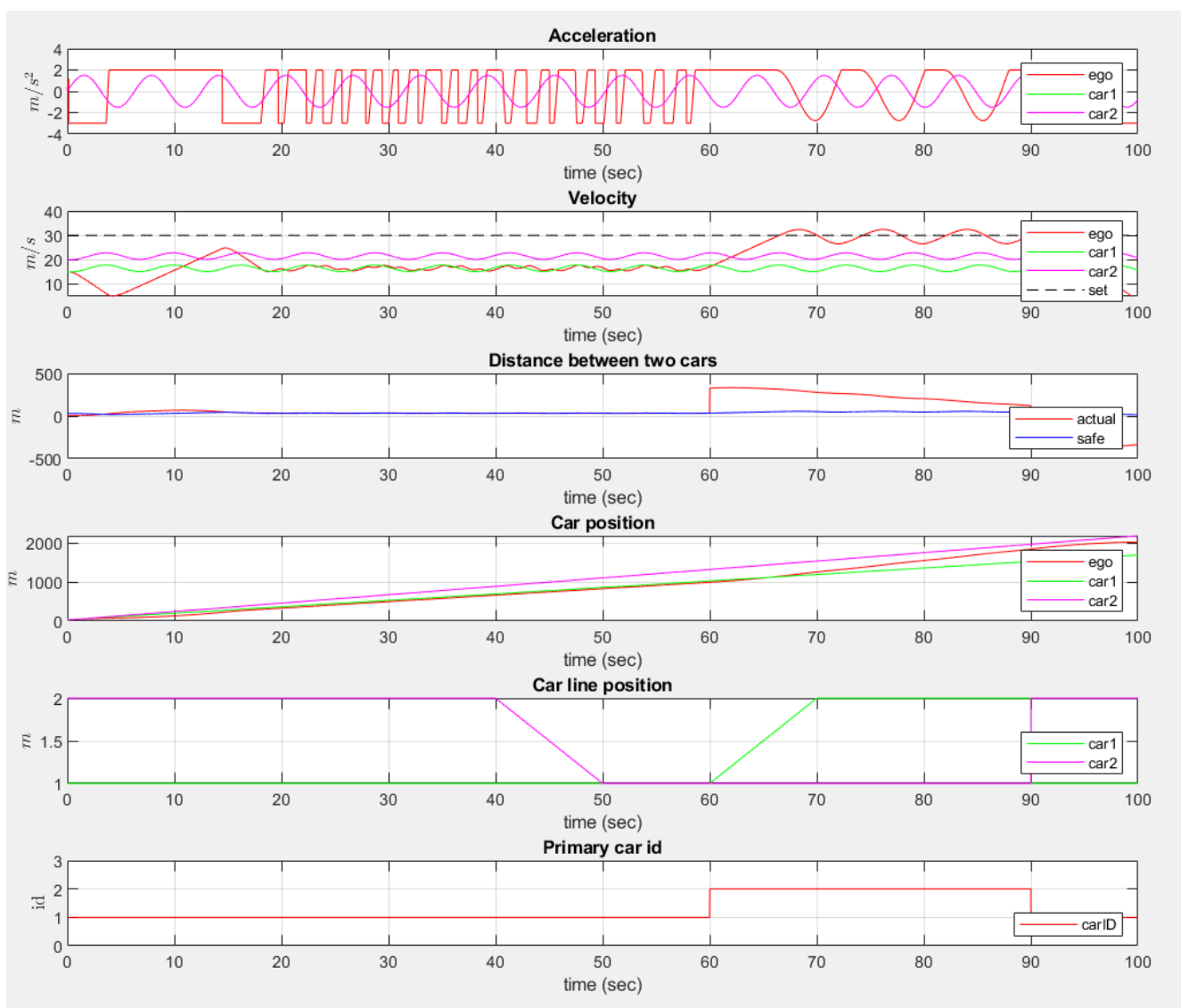


Рисунок 4.13 – Результат роботи запропонованої системи

Як видно з графіків на рисунку 4.13 швидкість автомобіля зросла, це зумовлено тим, що була необхідність зменшити відстань між автомобілями, щоб досягти бажаного значення.

Також було проведено ряд тестів без використання запропонованого методу визначення цілі. Один з таких результатів зображено на рисунку 4.14

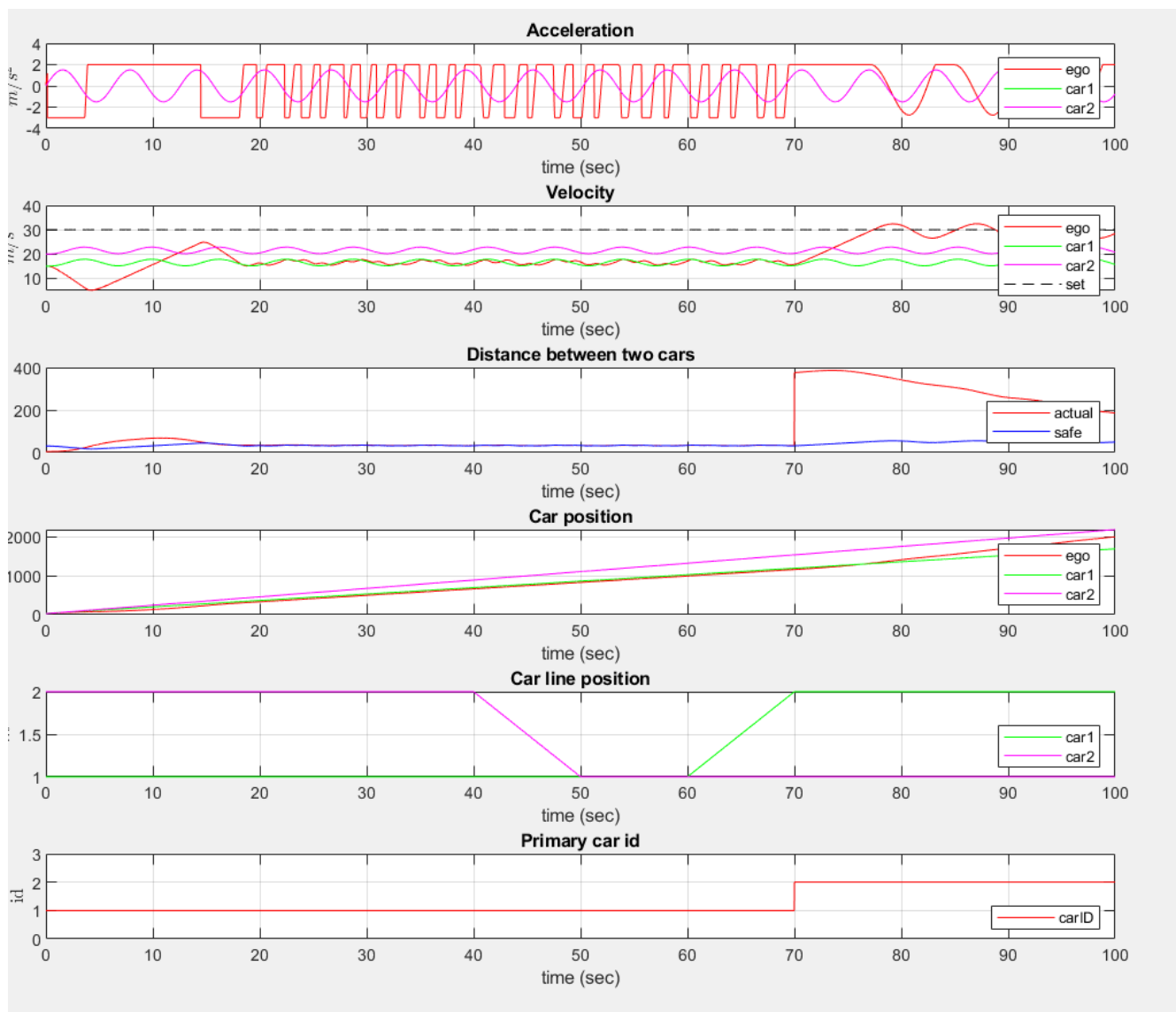


Рисунок 4.14 – Результат тестування без використання запропонованого методу визначення цілі

Як видно з рисунку 4.14 це така ж ситуація яка змодельована на рисунку 4.13. Але в даному випадку зміна основної цілі відбулася тільки на 70 секунді на відміну від рисунку 4.13. Тобто в даній ситуації система змінила основну ціль вже після того як автомобіль номер один змінив свою смугу. В попередній ситуації ж навпаки система оприділила що автомобіль номер один змінює смугу руху і вже з 60 секунди змінила основну ціль. Як видно з прикладів різниця

становить близько 10 секунд в рамках проведених тестувань. В реальному ситуації, навіть долі секунд можуть бути важливими в роботі даної системи, і вища швидкість реакції системи може уникнути аварійної ситуації.

Розглянемо ще один приклад рисунок 4.15.

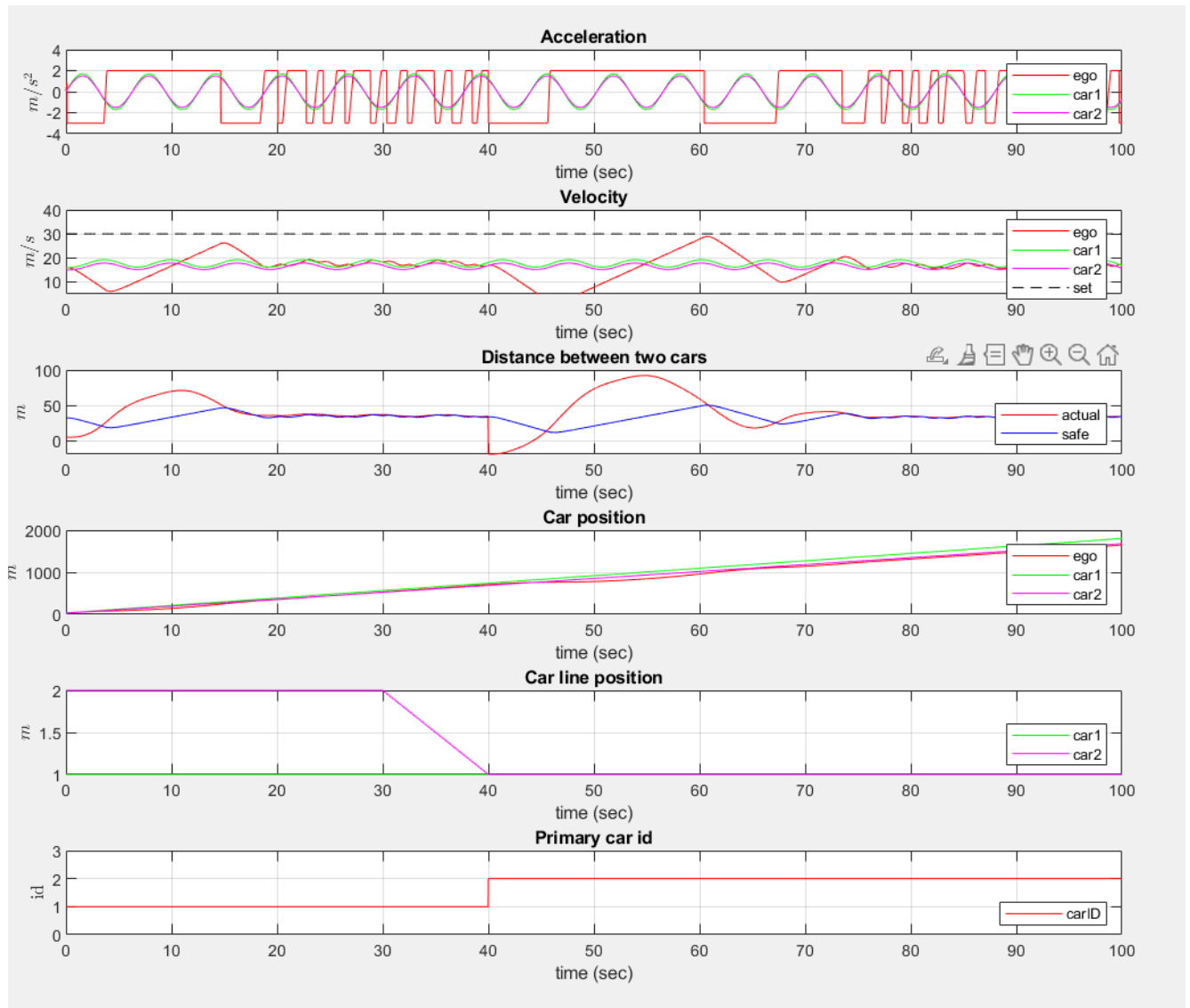


Рисунок 4.15 – Результат тестування без використання запропонованого методу визначення цілі

Як ми бачимо з рисунку в цій ситуації автомобіль номер два змінював свою смугу руху і в'їхав між автомобілем «ego» та автомобілем номер один. В цьому випадку також система не одразу змінила основну ціль, а лише після закінчення перестроювання автомобіля номер два, і як бачимо автомобіль «ego» мав різко

гальмувати оскільки безпечна відстань між автомобілями була замалою. Саме в таких випадках ця різниця в швидкості реагування системи грає велику роль, оскільки чим швидше система змінить основну ціль, тим швидше вона зможе оприділити відстань між автомобілями і швидше зможе обрахувати бажане прискорення і швидкість руху автомобіля.

#### 4.5 Висновок

Таким чином в результаті розробки системи за допомогою розробленого методу виявлення основної цілі, було покращено систему адаптивного круїз контролю, яка за допомогою машинного навчання швидше розпізнає і реагує на різноманітні навколишні ситуації, що дозволяє розробленій системі краще реагувати і вносити корегування в швидкість автомобіля.

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено метод який інтегрується в систему адаптивного круїз контролю, та дозволяє визначати пріоритетну ціль, обчислювати та формувати значення швидкості та відстані цього автомобіля, та передавати дані в подальші модулі системи для регулювання швидкості автомобіля.

У першому розділі було описано що системи адаптивного круїз контролю на сьогоднішній день є досить розповсюдженими, і стрімко розвиваються. Одним із аспектів цього розвитку став розвиток альтернативних видів енергії, що в свою чергу привело до появи гібридних та електромобілів. Системи адаптивного круїз контролю працюють з такими складовими автомобіля як двигун, система трансмісії, та система гальм. Основною задачею системи адаптивного круїз контролю є забезпечення безпеки руху автомобіля, а також покращення ефективності руху шляхом зменшення витрати палива.

У другому розділі було досліджено, що системи адаптивного круїз контролю складаються з двох основних складових, це контролери верхнього та нижнього рівнів. В контролері верхнього рівня знаходяться модулі, які на основі зібраних показників формують значення бажаного прискорення, або ж за допомогою алгоритмів обирають основну ціль за якою має слідувати система. Контролер верхнього рівня може поєднувати в собі декілька різних модулів, які синхронно працюють, що дає змогу покращити показники ефективності системи, а також поєднання модулів може вирішити деякі недоліки цих модулів. Контролер нижнього рівня виконує роль передавача, і дозволяє поєднати контролер верхнього рівня з механічними частинами автомобіля, такими як двигун, трансмісія чи гальма. На основі значення бажаного прискорення який формується в контролері верхнього рівня, контролер нижнього рівня формує сигнал до тої чи іншої механічної частини, і в результаті відбувається прискорення або ж гальмування автомобіля. Також важливою частиною цих контролерів є зворотній зв'язок, оскільки, в залежності від дорожньої ситуації,

значення бажаного прискорення не завжди може бути потрібним, і автомобіль, наприклад, замість збільшення швидкості буде уповільнюватися. Саме тому вводиться поняття зворотного зв'язку, щоб система адаптивного круїз контролю могла вносити поправки в значення бажаного прискорення.

У третьому розділі було запропоновано метод виявлення цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля. Метод базується на основі рекурентної нейронної мережі типу довгої короткочасної пам'яті з використанням спільної моделі. Запропонований метод дозволяє опрацьовувати інформацію про навколишні транспортні засоби, яка надходить у вигляді часових рядів, порівнювати їх дані між собою, та в результаті перевірки надавати транспортний засіб який найкраще підходить як основна ціль адаптивного круїз контролю. Задля забезпечення чіткої роботи методу, і запобігання різноплановості даних було введено такі поняття як нормалізація та підміна. Для оптимізації ресурсів було вирішено використовувати спільну модель для усіх транспортних засобів. Також за основу машинного навчання було обрано рекурентну нейронну мережу, а саме мережу довгої короткочасної пам'яті. Також було введено перевірку на необхідність вибору основної цілі, щоб охопити більший об'єм ситуацій які можуть виникнути в реальних умовах. В результаті поєднання усі вище перерахованих особливостей, було розроблено метод який може підлаштовуватися під різні реальні ситуації, здатний опрацьовувати часові ряди за довготривалі періоди, порівнювати навколишні транспортні засоби, і в результаті обирати транспортний засіб який найкраще підходить на роль основної цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля.

У четвертому розділі було реалізовано систему адаптивного круїз контролю, в яку було інтегровано запропонований метод визначення основної цілі. Запропонований метод дозволив покращити результати роботи системи, за допомогою машинного навчання дозволив системі підлаштовуватися під різні ситуації, реагувати на них. Також система показала кращі результати в контролі швидкості та відстані від лідируючого автомобіля.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Нічепорук А.А., Нічепорук А.О., Казанцев, А.Д. Парніцький О.А., MitM кібератаки на локально-керуючий рівень кіберфізичної системи розумних мереж енергозабезпечення: визначення доменної області та поведінка системи. *2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE)*, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29-30, 2022, pp. 63-67.
2. Kala R. Advanced driver assistance systems. In: Kala R (ed.) *On-road intelligent vehicles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016.
3. Blythe P., Bell MC. *Advanced driver assistance systems: gimmick or reality*. Nagoya, Japan, 2004.
4. Bu F., Chan CY. *Adaptive and cooperative cruise control*. London: Springer, 2012.
5. Dvorkin W., King J., Gray M. Determining the greenhouse gas emissions benefit of an adaptive cruise control system using real-world driving data. Warrendale, PA: SAE International, 2019.
6. Spiliopoulou A., Manolis D., Vandorou F. Adaptive cruise control operation for improved motorway traffic flow. *Transp Res Rec* 2018.
7. Tak Сю, Yeo H. The impact of predictive cruise control on traffic flow and energy consumption. *ASCE international workshop on computing in civil engineering*, Los Angeles, CA, 2013.
8. Cao Z., Yang D., Jiang K. *End-to-end adaptive cruise control based on timing network*. New York, NY: Springer, 2019.
9. Alonso L., Pérez-Oria J., Fernández M. *Genetically tuned controller of an adaptive cruise control for urban traffic based on ultrasounds*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.
10. Chen XW., Zhang JG., Liu YJ. Research on the intelligent control and simulation of automobile cruise system based on fuzzy system. *Math Probl Eng*. 2016.

11. Tsai CC., Hsieh SM., Chen CT. Fuzzy longitudinal controller design and experimentation for adaptive cruise control and Stop & Go. *J Intell Robot Syst.* 2010.
12. Milanés V., Shladover SE., Spring J. Cooperative adaptive cruise control in real traffic situations. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2014.
13. Ma C., Hori Y. Fractional-order control: theory and applications in motion control. *IEEE Ind Electron Mag.* 2007.
14. Flores C., Milanés V. Fractional-order-based ACC/CACC algorithm for improving string stability. *Transp Res Part C Emerg Techno.* 2018.
15. Martinez J., Canudas-de-Wit C. A safe longitudinal control for adaptive cruise control and stop-and-go scenarios. *IEEE Trans Control Syst Technol.* 2007.
16. Mohtavipour SM., Jafari H., Shahhoseini HS. A novel design for adaptive cruise control based on extended reference model. Tehran, Iran, 2017.
17. Chang HJ., Yoon Tae K., Lee Hwi C. Design of autonomous cruise controller with linear time varying model. *J Electr Eng Technol.* 2015.
18. Xiao-Yun L., Hedrick JK., Drew M. ACC/CACC-control design, stability and robust performance. Anchorage, AK, 2002.
19. Bartolini G., Ferrara A., Usai E. Chattering avoidance by second-order sliding mode control. *IEEE Trans Autom Control.* 1998.
20. Saghafinia A., Ping HW., Uddin MN. Adaptive fuzzy sliding-mode control into chattering-free IM drive. *IEEE Trans Ind Appl.* 2015.
21. Memon ZA., Pathan DM., Hussain T. Analysis of an ACC system for sliding mode and MPC under transitional manoeuvres. *Mehran Univ Res J Eng Technol.* 2012.
22. Mikami Y., Takahashi M., Nishimura H. Adaptive cruise control in consideration of trade-off between following capability to a leading vehicle and reduction of fuel consumption. In: *MOVIC 2010 – 10th international conference on motion and vibration control, proceedings.* Tokyo, Japan, 2010.
23. Park C., Lee H. A study of adaptive cruise control system to improve fuel efficiency. *Int J Environ Pollut Remed.* 2017.

24. Ruina D., He C., Qiang Z. ACC of electric vehicles with coordination control of fuel economy and tracking safety. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Alcalá de Henares, Spain, 2012.
25. Khaled N., Pattel B. Chapter 2 – Theoretical foundation of MPC. In: *Khaled N, Pattel B (eds) Practical design and application of model predictive control*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018.
26. Jiang Y., Deng W., He R. Hierarchical framework for adaptive cruise control with model predictive control method. *Intelligent and Connected Vehicles Symposium*. 2017.
27. Li S., Li K., Rajamani R. Model predictive multi-objective vehicular adaptive cruise control. *IEEE Trans Control Syst Technol*. 2011.
28. Eben Li S., Li K., Wang J. Economy-oriented vehicle adaptive cruise control with coordinating multiple objectives function. *Veh Syst Dyn*. 2013.
29. Luo LH., Liu H., Li P. Model predictive control for adaptive cruise control with multi-objectives: comfort, fuel-economy, safety and car-following. *J Zhejiang Univ Sci A*. 2010.
30. Weißmann A., Görges D., Lin X. Energy-optimal adaptive cruise control combining model predictive control and dynamic programming. *Control Engineering Practice*. 2018.
31. Shakouri P., Ordys A. Nonlinear model predictive control approach in design of adaptive cruise control with automated switching to cruise control. *Control Engineering Practice*. 2014.
32. Corona D., Lazar M., De Schutter B. A hybrid MPC approach to the design of a smart adaptive cruise controller. In: *Proceedings of the IEEE international conference on control applications*. Munich, Germany, 2006.
33. Corona D, Schutter BD. Adaptive cruise control for a SMART car: a comparison benchmark for MPC-PWA control methods. *IEEE Trans Control Syst Technol*. 2008.

34. Ding Y, Chen H, Gong J, et al. Model predictive enhanced adaptive cruise control for multiple driving situations. *In: 2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV)*. Changshu, Suzhou, China, 2018.
35. Junhui Z., Li Q., Chen D. Integrated adaptive cruise control with weight coefficient self-tuning strategy. *Appl Sci*. 2018.
36. Naus G., Bleek R., Ploeg J. Explicit MPC design and performance evaluation of an ACC Stop-&-Go. *In: 2008 American control conference*. Seattle, WA, 2008.
37. Naus GJL., van de Ploeg J., Van de Molengraft MJG. Design and implementation of parameterized adaptive cruise control: an explicit model predictive control approach. *Control Engineering Practice*. 2010.
38. Li S., Jia Z., Li K. Fast online computation of a model predictive controller and its application to fuel economy-oriented adaptive cruise control. *IEEE Trans Intell Transp Syst*. 2015.
39. Benalie N., Pananurak W., Thanok S. Improvement of adaptive cruise control system based on speed characteristics and time headway. *In: 2009 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*. Hyatt Regency, St. Louis, 2009.
40. Hong-bo W., Xiao-wen S., Jiang Y. Research on hierarchical control of automobile adaptive cruise system based on the mode switching. *In: 2016 Chinese control and decision conference (CCDC)*. Yinchuan, China, 2016.
41. Abdullah R., Hussain A., Warwick K. Autonomous intelligent cruise control using a novel multiple-controller framework incorporating fuzzy-logic-based switching and tuning. *Neurocomputing*. 2008.
42. Kuyumcu A., Şengör NS. Effect of neural controller on adaptive cruise control. Cham: *Springer International Publishing*. 2016.
43. Zhang S., Zhang J. Neural network optimized model predictive multi-objective adaptive cruise control. *MATEC Web Conf*. 2018.

44. Hu Z., Zhao D. Supervised reinforcement learning for human-like adaptive cruise control. *In: 4th International symposium on computational intelligence and industrial applications*. ISCIIA 2010, China, 2010.
45. Zhao D., Hu Z., Xia Z. Full-range adaptive cruise control based on supervised adaptive dynamic programming. *Neurocomputing*. 2014.
46. Xu K., Xu Y. Dynamic neuro-fuzzy control design for adaptive cruise controller in intelligent transportation system. *In: International conference on transportation engineering 2009*. Chengdu, China, 2009.
47. Khayyam H., Nahavandi S., Davis S. Adaptive cruise control look-ahead system for energy management of vehicles. *Expert Syst Appl*. 2012.
48. Kim C., Langari R. Application of brain limbic system to adaptive cruise control. *Int J Veh Auton Syst*. 2013.
49. Nakano H., Ito T. Application of sliding control for adaptive cruise control: *Society of Automotive Engineers of Japan*. Nagoya, Japan, 2002.
50. Feng DN., Liu ZD., Pei X. Precise electric throttle openness control for vehicle adaptive cruise control system. *Transactions of Beijing Institute of Technology*. 2011.
51. Han K., Yoon Y. CVT auto cruise ratio control using adaptive sliding mode control. *Warrendale*. 2013.
52. Brugnolli MM., Pereira BS., Angélico BA. Adaptive cruise control with a customized electronic control unit. *J Control Autom Electr Syst*. 2019.
53. Chen L., Dai C., Luo M. Investigation of a driver-oriented adaptive cruise control system. *Int J Veh Des*. 2014;
54. Gao Z., Wang J., Hu H. Vehicle longitudinal control algorithm based on iterative learning control. *Warrendale, PA: SAE International*. 2016.
55. Kitazono S., Ohmori H. Semi-autonomous adaptive cruise control in mixed traffic. *In: 2006 SICE-ICASE international joint conference*, Busan, Korea, 2006.
56. Wang M., Yu H., Dong G. Dual-mode adaptive cruise control strategy based on model predictive control and neural network for pure electric vehicles. *In:*

2019 5th international conference on transportation information and safety (ICTIS), Liverpool, UK, 2019.

57. Ma GC., Liu ZD., Pei X. Research on the active braking control of adaptive cruise control system for automobiles. *Beijing Ligong Daxue Xuebao/Trans Beijing Inst Technol.* 2012.

58. Hosseinnia SH., Tejado I., Milanés V. Experimental application of hybrid fractional-order adaptive cruise control at low speed. *IEEE Trans Control Syst Technol.* 2014.

59. Shakouri P., Ordys A., Laila DS. Adaptive cruise control system: comparing gain-scheduling PI and LQ controllers. *IFAC Proc Vol.* 2011.

60. Luo L., Li P., Wang H. Vehicle adaptive cruise control design with optimal switching between throttle and brake. *J Control Theory Appl.* 2012.

61. Sun C., Chu L., Guo J. Research on adaptive cruise control strategy of pure electric vehicle with braking energy recovery. *Adv Mech Eng.* 2017.

62. Ren Y., Zheng L., Yang W. Potential field-based hierarchical adaptive cruise control for semi-autonomous electric vehicle. *Proc IMechE, Part D: J Automobile Engineering.* 2019.

63. Sun B., Deng W., He R. Personalized eco-driving for intelligent electric vehicles. *Warrendale, PA: SAE International.* 2018.

64. Wu D., Zhu B., Tan D. Multi-objective optimization strategy of adaptive cruise control considering regenerative energy. *Proc IMechE, Part D: J Automobile Engineering.* 2019.

65. Guo-Zhu Z., Xiang H., Xing P. Adaptive model predictive control research on regenerative braking for electric bus cruising downhill. *J Adv Manuf Syst.* 2016.

66. Gao Z., Song H. Study on the electric vehicle adaptive cruise control based on the model predictive control algorithm. *Singapore: Springer.* 2019.

67. Guo J., Luo Y., Li K. Adaptive coordinated leader-follower control of autonomous over-actuated electric vehicles. *Trans Inst Meas Control.* 2017.

68. Kural E., Güvenç BA. Integrated adaptive cruise control for parallel hybrid vehicle energy management. *IFAC-PapersOnLine.* 2015.

69. Van Keulen T., Naus G., De Jager B. Predictive cruise control in hybrid electric vehicles. *World Electr Veh J*. 2009.
70. Yadav AK., Gaur P. Improved self-tuning fuzzy proportional–integral–derivative versus fuzzy-adaptive proportional–integral–derivative for speed control of nonlinear hybrid electric vehicles. *J Comput Nonlinear Dyn*. 2016.
71. Ganji B., Kouzani AZ., Khoo SY. Adaptive cruise control of a HEV using sliding mode control. *Expert Syst Appl*. 2014.
72. Liu R., Zhu X. Acceleration distribution characteristics of the driver and its application. *J Automot Saf Energy*. 2019.
73. Derbel O., Peter T., Zebiri H. Modified intelligent driver model for driver safety and traffic stability improvement. *IFAC Proc Vol*. 2013.
74. Zhang W., Zhang J., Wang W. Adaptive cruise control strategy with high user acceptance based on psychophysical model. In: *CICTP 2014: safe, smart, and sustainable multimodal transportation systems – proceedings of the 14th COTA international conference of transportation professionals*. Changsha, China, 2014.
75. Zhenhai G., Jian G., Guohui D. A fuzzy on-line self-tuning control algorithm for vehicle adaptive cruise control system with the simulation of driver behavior. *Warrendale, PA: SAE International*. 2009.
76. Gao Z., Yan W., Jiang Z. Design of adaptive cruise control systems based on quadratic boundedness theory. *Adv Mater Res*. 2013.
77. Lei Z., Jianqiang W., Keqiang L. An adaptive cruise control system based on self-learning algorithm for driver characteristics. In: *Intelligent vehicle controls and intelligent transportation systems – proceedings of the 3rd international workshop – IVC and ITS 2009 in conjunction with ICINCO*. 2009.
78. Han D., Yi K. A driver-adaptive range policy for adaptive cruise control. *Proc Inst Mech Eng Part D*. 2006.
79. Rosenfeld A., Bareket Z., Goldman CV. Learning drivers' behavior to improve adaptive cruise control. *J Intell Transp Syst*. 2015.
80. Yuan W., Li Z., Wang C. Lane-change prediction method for adaptive cruise control system with hidden Markov model. *Adv Mech Eng*. 2018.



**ДОДАТОК А**  
**(обов'язковий)**

**ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ СИСТЕМИ**  
**АДАПТИВНОГО КРУЇЗ КОНТРОЛЮ**

Формування змінних та передача їх в модуль симуляції системи  
адаптивного круїз контролю

```
ego_car_obj = EgoCar;  
ego_car_obj.x_position = 30;  
ego_car_obj.velocity = 16;
```

```
%%
```

```
car1 = LeadCar;  
car1.id = 1;  
car1.x_position = 35;  
car1.velocity = 16;
```

```
%%
```

```
car2 = LeadCar;  
car2.id = 2;  
car2.x_position = 29;  
car2.velocity = 15;
```

```
%% Simulink Model for Lead Car and Ego Car
```

```
mdl = 'mpcACCsystem';  
open_system(mdl)
```

```
Ts = 0.01;
```

```
T = 100;
```

```
% Specify the linear model for ego car.
```

```
G_ego = tf(1, [0.5, 1, 0]);
```

```
%%
```

```
% Specify the initial position and velocity for the two vehicles.
```

```

t_gap = 1.4;
D_default = 10;

%%
% Specify the driver-set velocity in m/s.
v_set = 30;

%%
% Considering the physical limitations of the vehicle dynamics, the
% acceleration is constrained to the range  $[-3,2]$  (m/s2).
amin_ego = -3;
amax_ego = 2;

%% Simulation Analysis
% Run the simulation.
sim mdl

%%
% Plot the simulation result.

mpcACCplot(logsout,D_default,t_gap,v_set)

```

### Клас EgoCar

```

classdef EgoCar
    properties
        id,
        x_position,
        velocity;
    end

    methods
    end
end

```

### Клас LeadCar

```

classdef LeadCar
    properties
        id,
        x_position,
        velocity;
    end
end

```

```

    methods
    end
end

```

### Код формування графіків результатів

```

function mpcACCplot(logsout,D_default,t_gap,v_set)
%% Get the data from simulation
a_ego = logsout.getElement('a_ego');
v_ego = logsout.getElement('v_ego');
p_ego = logsout.getElement('p_ego');
a_lead = logsout.getElement('a_lead');
v_lead = logsout.getElement('v_lead');
p_lead = logsout.getElement('p_lead');
a_car1 = logsout.getElement('a_car1');
v_car1 = logsout.getElement('v_car1');
p_car1 = logsout.getElement('p_car1');
a_car2 = logsout.getElement('a_car2');
v_car2 = logsout.getElement('v_car2');
p_car2 = logsout.getElement('p_car2');
line_car1 = logsout.getElement('line_car1');
line_car2 = logsout.getElement('line_car2');
d_rel = logsout.getElement('d_rel');
v_id = logsout.getElement('v_id');
d_safe = D_default + t_gap*v_ego.Values.Data;

%% Plot the results
figure('position',[100 100 960 800])

% acceleration
subplot(6,1,1)
plot(a_ego.Values.time,a_ego.Values.Data,'r', ...

a_car1.Values.time,a_car1.Values.Data,'g',a_car2.Values.time,a_car2.Values.Data,'m
')
grid on
ylim([-4,4])
legend('ego', 'car1','car2','location','SouthEast')
title('Acceleration')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m/s^2$','Interpreter','latex')

% velocity

```

```

subplot(6,1,2)
plot(v_ego.Values.time,v_ego.Values.Data,'r',...
      v_car1.Values.time,v_car1.Values.Data,'g',...
      v_car2.Values.time,v_car2.Values.Data,'m',...
      v_lead.Values.time,v_set*ones(length(v_lead.Values.time),1),'k--')
grid on
ylim([5,40])
legend('ego','car1','car2','set','location','SouthEast')
title('Velocity')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m/s$', 'Interpreter', 'latex')

% distance
subplot(6,1,3)
plot(d_rel.Values.time,d_rel.Values.Data,'r',...
      d_rel.Values.time,d_safe,'b')
grid on
legend('actual','safe','location','SouthEast')
title('Distance between two cars')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m$', 'Interpreter', 'latex')

% Position
subplot(6,1,4)
plot(p_ego.Values.time,p_ego.Values.Data,'r', ...
      p_car1.Values.time,p_car1.Values.Data,'g',p_car2.Values.time,p_car2.Values.Data,'m'
      ')
grid on
legend('ego','car1','car2','location','SouthEast')
title('Car position')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m$', 'Interpreter', 'latex')

% Line position
subplot(6,1,5)
plot(line_car1.Values.time,line_car1.Values.Data,'g',line_car2.Values.time,line_ca
r2.Values.Data,'m')
grid on
legend('car1','car2','location','SouthEast')
title('Car line position')
xlabel('time (sec)')

```

```
ylabel('$m$', 'Interpreter', 'latex')

% carID
subplot(6,1,6)
plot(v_id.Values.time,v_id.Values.Data,'r')
grid on
ylim([0,3])
legend('carID','location','SouthEast')
title('Primary car id')
xlabel('time (sec)')
ylabel('id','Interpreter','latex')
```

**ДОДАТОК В**  
(обов'язковий)

**КОПІЯ ПУБЛІКАЦІЇ**

**MitM кібератаки на локально-керуючий рівень  
кіберфізичної системи розумних мереж  
енергозабезпечення: визначення доменної  
області та поведінка системи**

Анастасія Нічепорук, Андрій Нічепорук, Андрій Казанцев, Олег  
Парницький

*Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем  
Хмельницький національний університет  
Хмельницький, Україна*

**Анотація**—В роботі було здійснено формалізацію MitM кібератаки (людина по середині) на локально-керуючий рівень кіберфізичної системи розумних мереж енергозабезпечення, визначено доменну область дослідження та формалізовано поведінку системи під впливом MitM кібератаки.

**Ключові слова** — *Кіберфізична система розумних мереж енергозабезпечення, MitM кібератаки, Поведінка системи, DNP3, Локально-керуючий рівень.*

I. ВСТУП

Кіберфізична система (КФС) розумних мереж енергозабезпечення є реалізацією загальної концепції відкритих кіберфізичних систем, у яких протікають інформаційні процеси пов'язані із наглядним управлінням фізичними пристроями та збереженням, перетворенням й обробкою даних від цих пристроїв, з метою автоматизації та оптимізації виробничих процесів.

З точки зору безпеки та захисту даних рівень наглядового управління (комунікаційна мережа та структурні об'єкти кіберфізичної системи) є найбільш захищеним до кібератак, що зумовлено їх наближенням до традиційних ІТ інфраструктур, для яких визначено та реалізовано застосування як апаратних так і програмних механізмів захисту та виявлення зловмисних впливів, що представлені зокрема брандмауерами, системами виявлення вторгнень, шифруванням каналів передачі даних, резервуванням, антивірусними засобами, тощо. В той самий час рівень локальний керуючий рівень є вразливим до кібератак, що пов'язано в першу чергу із застосуванням спеціальних протоколів передачі інформації DNP3, Modbus, IEC 61850 для яких показники захищеності та конфіденційності передачі інформації відійшли на другий план, поступившись місцем ефективності передачі інформації між фізичним та кібер середовищем. Тому кібератаки MitM на кіберфізичну систему розумної мережі енергозабезпечення досліджуватимуться в даній роботі саме для локального керуючого рівня.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Методи виявлення кібератак типу MitM у системах розумних мереж енергозабезпечення можна розділити на шість категорій: методи на основі локалізації, методи на основі залучення штучного інтелекту, моделі прогнозування, методи на основі характеристик каналу, методи на основі фільтрації, а також системи виявлення вторгнень. Значну частину методів складають підходи на основі залучення штучного інтелекту.

Категорія методів на основі штучного інтелекту складається з різних алгоритмів машинного та глибокого навчання, методів інтелектуального аналізу даних, еволюційних алгоритмів і методів нечіткої логіки. Наприклад, автори роботи [1] використовували машинне навчання для виявлення атак, а саме випадковий ліс, метод опорних векторів і нейронну мережу. Їх результати показують, що запропонована методика на основі випадкового лісу забезпечує досить високу точність. У [2] автори також використовували алгоритми машинного навчання для виявлення атак соціальної інженерії. Підхід використовує навчання без вчителя, що означає відсутність попередніх знань про спостережувані кібератаки. Вони порівнювали продуктивність різних алгоритмів машинного навчання (зокрема метод опорних векторів нейронні мережі) з точки зору надійності, точності та швидкості. Результати їх експериментів демонструють, що метод опорних векторів дають кращі результати порівняно з іншими алгоритмами. У [3] автори використовували методи машинного навчання для виявлення атак грубої сили на протокол Secure Shell. Автори використовували різні класифікатори, включаючи метод k-ближніх сусідів, дерева рішень та наївний байєсів класифікатор. Спільним недоліком даних методів не достатній рівень достовірності виявлення, що зумовлено тим, що в якості ознак для застосування методів машинного навчання були використанні атомарні ознаки. Тому перспективним напрямком є створення комплексних ознак на основі побудови параметризованих процедур кібератак та правил їх виявлення, які лягли в основу системи виявлення вторгнень із залученням методів машинного навчання

### III. ФОРМАЛІЗАЦІЯ MITM КІБЕРАТАКИ НА ЛОКАЛЬНО-КЕРУЮЧИЙ РІВЕНЬ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Кібератака MitM у КФС є пасивною чи активною формою втручання у комунікаційний канал обміну інформацією між пристроями системи, шляхом здійснення легітимізації своєї присутності, стаючи тим самим повноцінним учасником комунікаційного обміну [4, 5]. Таким чином, зловмисник, що реалізує атаку MitM на розумну мережу енергозабезпечення, може виконувати кібератаки на введення помилкових даних (false data injection) і введення помилкових команд (false command injection), які можуть поставити під загрозу роботу всієї енергосистеми, наприклад оцінки стану, її диспетчеризацію та автоматичне керування генерацією електричної енергії [6].

При розгляді кібератак на локально керуєний рівень кіберфізичної системи розумної мережі енергозабезпечення будемо вважати, що зловмисник, який реалізує кібератаку MitM є складовою частиною самої КФС, тобто розширює загальну кількість об'єктів у множині  $\Omega$ :

$$\Omega = \{o_j\}_{j=1}^{N_{\Omega}} \cup o_{MitM} \quad (1)$$

де  $o_{MitM}$  – об'єкт кіберфізичної системи, що виконує компрометування каналу зв'язку та реалізує MitM кібератаки,  $\Omega$  – повна група об'єктів КФС.

Це твердження виходить з огляду на те, що для початку проведення вектору атаки MitM на складову частину КФС (комунікаційний канал між MTU та віддаленим пристроєм телеметрії), зловмисник має бути представлений у вигляді об'єкта цієї системи, тобто бути учасником обміну інформацією.

Присутність в складі КФС об'єкту, що реалізує MitM кібератаки на об'єкти з множини  $\Omega \setminus o_{MitM}$  призводить до того, що реалізується *параметризована процедура атаки*, результатом якої є надходження помилкових даних і/або команд на цільовий об'єкт кіберфізичної системи  $o_{target} \in \Omega$ . Результатом такої процедури для цільового об'єкта  $o_{target}$  є змінна його параметрів, наприклад параметр “стан” автоматичного комутаційного перемикача зміниться із “закритий” на “відкритий” або навпаки. Таким чином, змінюється стан самого цільового об'єкту, що призводить до формування нової траєкторії функціонування об'єкта (зміни спостережуваної траєкторії на нову). Траєкторією об'єкта КФС назвемо не порожню кінцеву

що надходять на головну станцію у відповідь на отримання керуючих команд. Ці дані та команди передаються по каналах комунікації через множину TCP/IP пакетів, у яких інкапсульовано DNP3 пакети, формуючи тим самим мережевий трафік.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТИ

Для проведення експериментів було проведено моделювання MitM кібератак на локально керуючий рівень кіберфізичної системи. Даний рівень (домен) було змодельовано засобами openDNP3 бібліотеки [7], таким чином, що два хости в мережі обмінювались даними через протокол DNP3, що працював поверх стеку TCP/IP. В даній системі один хост представляв головний вузол (master, може представляти програмований логічний контролер), інший віддалений пристрій (outstation). Посередині між цими вузлами додано ще один хост, що виконував функції зловмисника. Результати проведеного дослідження дозволили сформувати набір комплексних ознак зокрема: ознаку виявлення кібератаки на двійкові команди керування, аналогові команди керування, а також ознаку інвертування двійкових команд керування.

#### V. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В якості напрямку подальшого дослідження буде обрано дослідження відомих різновидів MitM кібератак, їх формалізацію, побудова параметризованих процедур кібератак та правил їх виявлення, які лягли в основу системи виявлення вторгнень на локально-керуючий рівень кіберфізичної системи розумних мереж енергозабезпечення.

#### VI. ВИСНОВКИ

В роботі було здійснено формалізацію MitM кібератаки на локально-керуючий рівень кіберфізичної системи розумних мереж енергозабезпечення, визначено доменну область дослідження та формалізовано поведінку системи під впливом MitM кібератаки. З огляду на процес виявлення кібератак типу MitM важливим завданням є їх аналіз та формалізація параметризованих процедур їх впливу на мережевий трафік, що дозволить сформувати сценарії впливу та виокремити набір ознак. Такі сценарії можуть бути використані для формування бази правил, відображення яких на набір ознак дозволить здійснити процес виявлення кібератак типу MitM.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] W. Wang, and Z. Lu, "Cyber Security in the Smart Grid: Survey and Challenges", Computer networks, 2013, vol. 57, no. 5, pp.1344-1371.
- [2] C. Smutz, and A. Stavrou, "Malicious PDF Detection using Metadata and Structural Features", Annual computer security applications conference, 2012, pp. 239-248.
- [3] S. Fatima, and N. Kaabouch. "Social Engineering Attacks: A Survey." Future Internet, 2019, vol. 11, no. 4, p. 89.
- [4] J. Bai, S. Hariiri and Y. Al-Nashif, "A Network Protection Framework for DNP3 over TCP/IP protocol," 2014 IEEE/ACS 11th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), 2014, pp. 9-15, doi: 10.1109/AICCSA.2014.7073172.
- [5] Hao Li, Guangjie Liu, Weiwei Jiang and Yuewei Dai, "Designing snort rules to detect abnormal DNP3 network data," 2015 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), 2015, pp. 343-348, doi: 10.1109/ICCAIS.2015.7338690.
- [6] Ö. Sen et al., "Investigating Man-in-the-Middle-based False Data Injection in a Smart Grid Laboratory Environment," 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), 2021, pp. 01-06, doi: 10.1109/ISGTEurope52324.2021.9640002.
- [7] URL: <https://dnp3.github.io/>

**ДОДАТОК В**  
(обов'язковий)

**ПРЕЗЕНТАЦІЯ**

**Метод та програмно-технічний засіб  
адаптивного круїз-контролю автомобіля**

Студент Парніцький О.А КІ2м-21-1  
Керівник к.т.н., доцент Нічепорук А.О.

Мета роботи – підвищення комфорту та безпеки руху керування автомобілем шляхом вибору оптимальної цілі у системі адаптивного круїз контролю.

Об'єкт дослідження – адаптивний круїз контроль автомобіля.

Предмет дослідження – методи та засоби вибору цілей для адаптивного круїз контролю автомобіля.

## Наукова новизна роботи

Удосконалено методу вибору цілей для адаптивного круїз контролю автомобіля, який відрізняється від відомих способом опрацюванням даних, що представлені у вигляді часових рядів, що дозволило підвищити ефективність вибору цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля.

Розроблено метод визначення цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля, який відрізняється від відомих методів тим, що використовує за основу машинне навчання, і обробляє дані за допомогою часових рядів, що дозволило підвищити ефективність, зокрема час реакції системи на зміну ситуації, що дозволило покращити комфорт та безпеку руху.

## Практична цінність

Практична цінність полягає у розробленні методу вибору основної цілі для системи адаптивного круїз контролю автомобіля. Метод базується на основі машинного навчання тарекурентних нейронних мережах, що дозволяє системі адаптивного круїз контролю бути більш гнучкою і пристосовуватися до різноманітних ситуацій. А за допомогою обробки даних на основі часових рядів система демонструє високу ефективність, та швидкість обробки даних, що дозволяє підвищити комфорт та безпеку руху.

## Постановка задачі

Дослідити наявні системи адаптивного круїз контролю автомобіля

Дослідити можливості машинного навчання та нейронних мереж у розрізі системи адаптивного круїз контролю авттомобіля

Розробити метод визначення основної цілі для системи адаптивного круїз контролю автомобіля

Інтегрувати розроблений метод в систему адаптивного круїз контролю автомобіля

## Актуальність дослідження

У сучасних реаліях автомобіль є невід'ємною частиною життя людина.

В середньому людина проводить за кермом щонайменше декілька годин на добу, тому і не дивно що кожного дня в Україні стається близько 50 дорожньо-транспортних пригод. Тому і дослідження безпеки руху автомобіля на сьогоднішній день є досить актуальними, і тому на даний момент існують десятки систем які покращують безпеку і комфорту руху автомобіля.



## Метод визначення цілі основної для адаптивного круїз контролю автомобіля

Першим кроком запропонованого методу є отримання і нормалізація даних. Запропонований метод використовує часові ряди для роботи з даними. Для нормалізації часових рядів було обрано метод мінімаксної нормалізації  $x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$ . Також для ідентифікації автомобілів використовувалося унітарне кодування, за допомогою якого Кодується ідентифікатор автомобіля

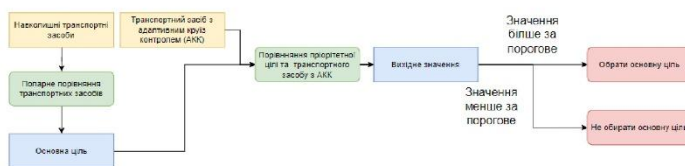
Наступним кроком після нормалізації даних йде попарна перевірка даних автомобілів. В основі цієї перевірки лежить конкатенація даних. В результаті конкатенації метод отримує вектор якому присвоює значення 0 або 1 в залежності від того яке співвідношення краще. Функція конкатенації виглядає наступним чином

$$target = arg\max \sum_{i \neq j} f(x_i \oplus x_j),$$

## Метод визначення цілі основної для адаптивного круїз контролю автомобіля

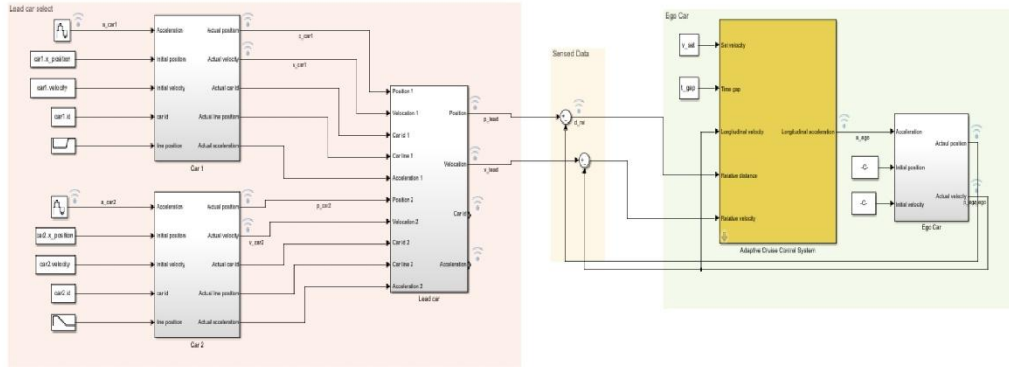
В результаті попарної перевірки транспортних засобів, кожний з них отримує набір векторів з значеннями 0 або 1. За основну ціль буде обиратися автомобіль з найбільшою кількістю векторів значення яких дорівнює одиниці.

В реальних умовах виникають ситуації коли жодна з наявних цілей не може бути пріоритетною, або коли дані автомобілів рівні, і ці дані не впливають на рух автомобіля з адаптивним круїз контролем. Тому було введено ще додаткову перевірку обраної цілі з самим транспортним засобом.

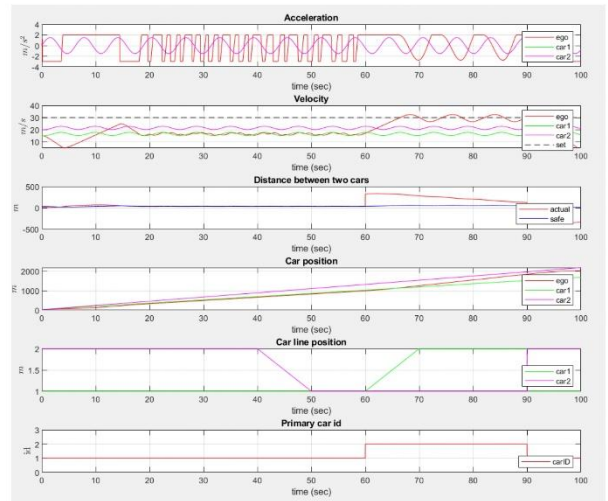
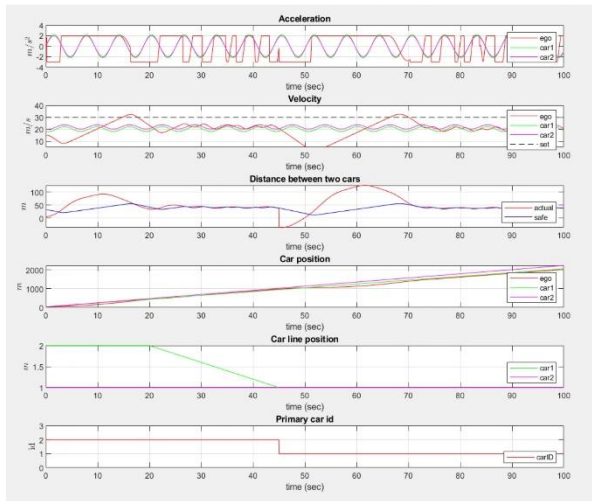


## Програмно технічний засіб адаптивного круїз контролю

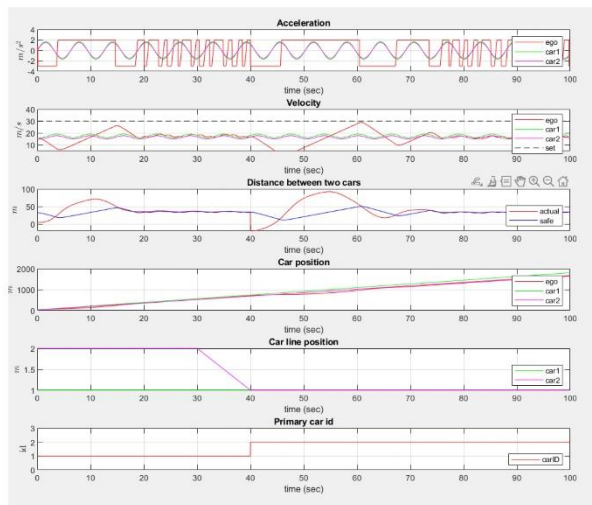
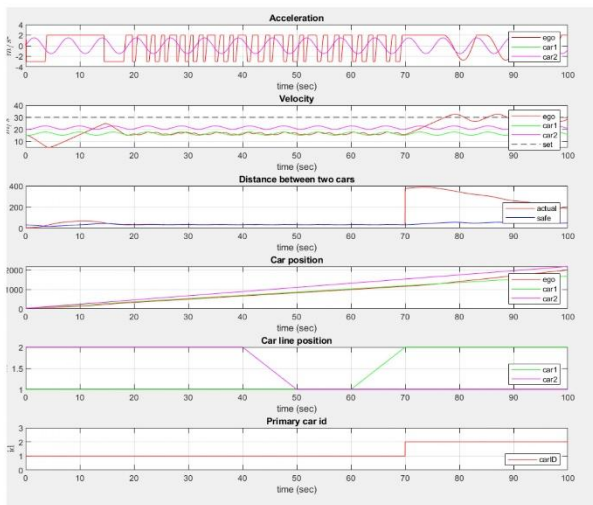
Для симуляції роботи системи адаптивного круїз контролю автомобіля, та моделювання запропонованого методу було вирішено використовувати програму Matlab, яка містить в собі необхідний функціонал для вирішення поставлених задач. Розроблена модель виглядає наступним чином:



## Результати симуляції системи адаптивного круїз контролю з використанням запропонованого методу



## Результати симуляції системи адаптивного круїз контролю без використання запропонованого методу



## Висновок

Запропонований метод вибору цілі для адаптивного круїз контролю автомобіля, дозволив покращити систему адаптивного круїз контролю автомобіля, яка за допомогою машинного навчання швидше розпізнає і реагує на різноманітні навколишні ситуації, що дозволяє розробленій системі краще реагувати і вносити корегування в швидкість автомобіля. Покращення швидкості реагування є важливим аспектом даної системи оскільки навіть декілька секунд різниці може впливати на безпеку руху автомобіля.



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
03.05.2023 11:48:18 EEST

Дата звіту:  
03.05.2023 11:50:04 EEST

ID перевірки:  
1014898874

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Парнці́йський Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля

Кількість сторінок: 90 Кількість слів: 16089 Кількість символів: 121981 Розмір файлу: 3.29 MB ID файлу: 1014595944

## 5.56% Схожість

Найбільша схожість: 0.53% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1014555365)

4.97% Джерела з Інтернету

110

Сторінка 92

0.76% Джерела з Бібліотеки

79

Сторінка 94

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи

9

# Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилко в документах: 6%

ID: 112941 Назва: МКР Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля Додано в БД: 2023-05-03 Автора: Парніцький О.А. Керівники: Нічепорук А.О. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	105629	795	780 (1%)	11 (1%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Парніцький Олег Анатолійович

Тема: Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 81

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано метод вибору основної цілі для адаптивного круїз-контролю автомобіля

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню \_\_\_\_\_  
Кваліфікаційна робота магістра відповідає виданому завданню \_\_\_\_\_

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі було розглянуто сутність системи адаптивного круїз-контролю автомобіля, було розглянуто наявні рішення. Також в першому розділі було описано основні складові автомобіля з якими взаємодіє система адаптивного круїз контролю. В другому розділі було розглянуто методи та алгоритми за якими функціонує система адаптивного круїз контролю, основні методи контролю швидкості та відстані. В третьому розділі було запропоновано метод вибору основної цілі для системи адаптивного круїз контролю автомобіля, який базується на основі машинного навчання та нейронних мережах. У четвертому розділі було запропоновано систему адаптивного круїз контролю на основі методу запропонованого в третьому розділі.

4. Позитивні сторони роботи: В результаті проведених досліджень було запропоновано метод визначення основної цілі для системи адаптивного круїз контролю, який базується на основі машинного навчання що дає змогу покращити ефективність системи, та надає їй більшої гнучкості в різноманітних ситуаціях. За

допомогою опрацювання даних на основі часових рядів було досягнуто підвищення ефективності вибору цілі для адаптивного круїз контролю.

5. Негативні сторони роботи: В першому розділі не було в повному обсягу розглянуто наявні рішення систем адаптивного круїз контролю автомобіля

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

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому рівні.

8. Інші зауваження: =

9. Оцінка кваліфікаційної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре»

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

Бармак Олександр Володимирович, завідувач  
кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук,  
професор.

“ 11 ” 05 2023 р.

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

Парницький Олег Анатолійович  
ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-21-1

#### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2022 (зі змінами від 26.11.2022), 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 плагіатоповіщений (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.

1 травня 2023

дата

ПО Аш

підпис

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

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

Назва: «Метод та програмно-технічний засіб адаптивного круїз-контролю автомобіля» \_\_\_\_\_

Автор: \_\_\_\_\_ Парніцький Олег Анатолійович \_\_\_\_\_

Спеціальність: \_\_\_\_\_ 123 – Компютерна інженерія \_\_\_\_\_

Освітня програма: \_\_\_\_\_ освітньо-наукова \_\_\_\_\_

Науковий керівник: \_\_\_\_\_ Нічепорук Андрій Олександрович, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи.
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості Unisheck, складає 5.56% і адресується до 189 першоджерел; а системою Anti-Plagiarism складає 0.0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Гарант ОП \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри КІСч \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.О. Нічепорук

\_\_\_\_\_ О. С. Савенко

\_\_\_\_\_ Т. О. Говорущенко