

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Кваліфікаційна робота

бакалавра

на тему: «Проектування системи ADAS сучасного автомобіля»
"Design of an ADAS system for a modern car"

Виконав: студент 2 курсу, групи 2Ас
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Керівник _____ к.т.н., доц. Єдинович М.Б.

Рецензент _____ д.т.н, проф. Литвиненко В.І

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Проектування системи ADAS сучасного автомобіля»

" Design of an ADAS system for a modern car "

Виконав: студент 2 курсу, групи 2Ас

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Керівник _____ к.т.н., доц. Єдинович М.Б.

Рецензент _____ д.т.н, проф. Литвиненко В.І

	Херсонський національний технічний університет
Факультет	Інженерії та транспорту
Кафедра	Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Ступінь вищої освіти	молодший бакалавр
Спеціальність	174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри автоматизації,
робототехніки і мехатроніки

Сєліверстов І.А.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Криворучку Богдану Володимировичу

1. Тема проекту:

«Проектування системи ADAS сучасного автомобіля»

«Design of an ADAS system for a modern car s»

керівник проекту: к.т.н., доцент Єдинович М.Б.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 27.01.2025 р. № 23-с

2. Строк подання студентом проекту «» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: Довідково-наукова технічна література,
мережі Петрі, Simulink

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Розділ 1. Огляд існуючих систем ADAS сучасного автомобіля

Розділ 2. Розробка моделі ACC з використанням мереж Петрі.

Розділ 3. Моделювання ACC у середовищі Simulink

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Демонстраційний плакат «Схема розпізнавання допозньої розмітки»

2. Демонстраційний плакат «Схема антиблокувальної гальмівної
системи (ABS) автомобіля»

3. Демонстраційний плакат «Схема взаємодії основних систем
активної безпеки автомобіля»

4. Демонстраційний плакат «Схематична діаграма ACC»

5. Демонстраційний плакат «Мережа Петрі ACC»

6. Демонстраційний плакат «Покращена мережа Петрі ACC»

8. Демонстраційний плакат «Тестовий стенд адаптивного круїз
контролю з використанням злиття датчиків»

6. Дата видачі завдання « 04 » березня 2025 р.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Єдинович М.Б., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання

«06» лютого 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Підбір і огляд літератури	15.03.2025 – 26.03.2025рр.	
2	Огляд підсистем ADAS	27.03.2025 – 12.04.2025рр.	
3	Пошук та підбір робочих матеріалів	13.04.2025 – 18.04.2025рр.	
4	Методи розробки з використанням систем Петрі	19.04.2025 – 28.04.2025рр.	
5	Моделювання системи ACC у серидовищі SIMULINK	29.04.2025 – 14.05.2025рр.	
6	Підготовка графічної частини	15.05.2025 – 31.05.2025рр.	
7	Оформлення ПЗ і графічного матеріалу	01.06.2025 - 10.06.2025рр.	

Студент

_____ Криворучко Б.В.
(підпис)

Керівник проекту

_____ Єдинович М.Б.
(підпис)

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Шифр докумен	Примітка
1	A4		Завдання на проектування	2		
2	A4	ХНТУ 74.КРБ.25.015 РФ	Реферат	2	РФ	
3	A4	ХНТУ 74.КРБ.25.015 ПЗ	Пояснювальна записка	78	ПЗ	
4	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Схема розпізнавання			
			допожньої розмітки			
5	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Схема антиблокувальної			
			гальмівної системи			
			(ABS) автомобіля			
6	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Схема взаємодії основних			
			систем активної безпеки			
			автомобіля			
7	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Схематична діаграма ACC			
8	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Мережа Петрі ACC			
9	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Покращена мережа Петрі			
			ACC			
10	A1		Демонстраційний плакат	1		
			Тестовий стенд			
			адаптивного круїз			
			контролю з використанням			
			злиття датчиків			

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ВР		
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Відомість об'єму роботи		
Розроб.	Криворучко Б.В.						
Перевір.	Єдинович М.Б.						
Реценз.							
Н. Контр.	Поліщук В.М.						
Затверд.	Сєліверстов І.А.				ХНТУ, гр. 2А(с)		
					Лім.	Аркуш	Аркушів
						4	84

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 84 сторінки, 36 рисунки, 3 таблиці, 33 джерел посилань.

Графічна частина – 7 аркушів формату А1.

Кваліфікаційна робота бакалара присвячена проектуванню системи ADAS сучасного автомобіля, розробці вдосконаленої системи злиття сенсорних даних та впровадження контролера на основі модельно-прогнозного керування (MPC).

Досліджено вдосконалення системи адаптивного круїз-контролю (ACC) шляхом інтеграції та злиття даних від різних сенсорів, таких як радар та комп'ютерний зір. Це дозволяє більш точно оцінювати навколишнє середовище, зокрема визначати положення інших автомобілів, їх бічний рух та ідентифікувати "провідний автомобіль" навіть на вигнутих дорогах. Крім того, робота присвячена застосуванню контролера на основі модельно-прогнозного керування (MPC), що забезпечує більш адаптивну та безпечну реакцію ACC на агресивні маневри інших транспортних засобів і динамічні зміни дорожньої ситуації. Таким чином, дослідження спрямоване на підвищення надійності та ефективності ACC для використання в умовах реального дорожнього руху, наближаючи її до вимог автономних систем.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, SIMULINK, АВТОМОБІЛЬ, ADAS, ACC,
LIDAR, MPC, КОНТРОЛЕР

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 РФ			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Криворучко Б.В.					5	84
Перевір.		Єдинович М.Б.						
Реценз.								
Н. Контр.		Поліщук В.М.				ХНТУ, гр. 2А(с)		
Затверд.		Селіверстов І.А.						

ABSTRACT

Bachelor's qualification work: 84 pages, 36 figures, 3 tables. 33 reference sources.

Graphic part – 8 sheets of A1 format.

This bachelor's qualification thesis focuses on designing a modern vehicle's Advanced Driver-Assistance System (ADAS), developing an advanced sensor data fusion system, and implementing a Model Predictive Control (MPC)-based controller.

The research investigates improving the Adaptive Cruise Control (ACC) system by integrating and fusing data from various sensors, such as radar and computer vision. This allows for a more accurate assessment of the surrounding environment, specifically determining the position and lateral movement of other vehicles and identifying the "lead vehicle" even on curved roads. Additionally, the work is dedicated to the application of a Model Predictive Control (MPC)-based controller, which ensures a more adaptive and safer ACC response to aggressive maneuvers by other vehicles and dynamic changes in road conditions. Thus, the research aims to enhance the reliability and effectiveness of ACC for use in real-world traffic, bringing it closer to the requirements of autonomous systems.

MATHEMATICAL MODEL, SIMULINK, VEHICLE, ADAS, ACC,
LIDAR, MPC, CONTROLLER

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. Огляд існуючих систем ADAS сучасного автомобіля.....	11
1.1 Типи систем ADAS сучасного автомобіля.....	11
1.2 Система попередження про виїзд зі смуги.....	17
1.3 Система автоматичної парковки.....	22
1.4 Адаптивний круїз-контроль.....	26
1.5 Електронний контроль стійкості.....	31
2. Розробка моделі АСС з використанням мереж Петрі.....	36
2.1 Функціональні вимоги.....	36
2.2 Огляд концепцій.....	38
2.3 Схема моделювання.....	40
2.4 Аналіз ризиків.....	43
2.5 Результати моделювання.....	48
3. Моделювання АСС у середовищі Simulink	51
3.1 Удосконалення адаптивного круїз-контролю (АСС) для автономних систем.....	51
3.2 Огляд моделі випробувального стенду та результатів моделювання...	53
3.3 Відстеження та об'єднання датчиків.....	62
3.4 Адаптивний круїзний-контролер.....	63
3.5 Транспортний засіб і навколишнє середовище.....	65
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	71
Додаток А.....	75
Додаток Б.....	76
Додаток В.....	77
Додаток Г.....	78

Додаток Д	79
Додаток Е.....	80
Додаток Є.....	81

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні технології розвиваються швидкими темпами. На сьогоднішній день і надалі продовжують створюватися та вдосконалюватися комп'ютерні системи, датчики, блоки та ін., завдяки чому стало можливим застосування нових технологій в автомобільній промисловості. Це дало змогу підвищити комфортабельність використання автомобіля та дозволило за допомогою сучасної електроніки та науки підвищити потужність та якість двигунів, підвіски та гальм авто, підвищення екологічності та надійності систем безпеки. З підвищенням складності механізмів та додавання комп'ютерів та електронних блоків в автомобілі, підвищилася і складність їх ремонту [1]. Для полегшення цього процесу та можливості ширшого, та надійнішого ремонту, вчені об'єднали вузли двох наук, точної механіки, та електроніки, що дало можливість впровадити в автомобілі системи діагностики та самодіагностики. Комп'ютерна діагностика авто – це процес перевірки стану всіх електронних систем за допомогою дилерських і мультимарочних сканерів, мотор-тестів, мультифункціональних стендів, портативних рідерів та інших пристроїв. Діагностика дозволяє оцінити стан вузлів, деталей та блоків керування автомобілем, а також дати оцінку його технічного стану, діагностика кожної системи автомобіля індивідуальна, як і людина. За результатами діагностики та виявленими помилками можна судити про технічний стан і дати пропозиції щодо ремонту можливих несправностей або заміни будь-яких агрегатів та вузлів. Новий сучасний автомобіль сьогодні складається з набору взаємопов'язаних складних вузлів, пристроїв і його працездатність залежить від безлічі параметрів. Діагностика автомобіля вирішує безліч проблем або неполадок і дозволяє більш точно оцінити стан електронних систем вашого автомобіля, що реально економить час на ремонт, оскільки звертає увагу безпосередньо на поломку [2].

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ADAS СУЧАСНОГО АВТОМОБІЛЯ

1.1 Типи систем ADAS сучасного автомобіля

Системи ADAS були створені для підвищення безпеки пасажирів та полегшення керування автомобілем. Використовуючи можливості сенсорів під'єднаних до Інтернету речей, технологія ADAS допомагає уникати зіткнень та дорожньо-транспортних пригод, у режимі реального часу попереджаючи водіїв про потенційні проблеми, здійснюючи запобіжні заходи та в деяких випадках перебираючи на себе контроль над автомобілем. Поточний ринок ADAS можна в цілому поділити на дві частини — камери й радары. Ймовірно, вам вже доводилося працювати на автомобілі, оснащеному системою ADAS на базі камери, основним елементом якої є невелика спрямована вперед камера, прикріплена до вітрового скла. У разі заміни вітрового скла на таких автомобілях систему ADAS потрібно заново відкалібрувати з використанням відповідних діагностичних сканерів та обладнання для калібрування. Найшвидше розвивається такий напрямок ADAS, як системи на основі радарів. Вони відстежують ділянку довкола автомобіля, виявляють «мертві» зони, пішоходів, відстежують сигнали регулювання руху і за потреби активують екстрене гальмування. Такі системи потребують повторного калібрування після будь-яких робіт, що впливають на геометрію автомобіля, адже саме ці дані є базовими для роботи системи ADAS. Популярність ADAS почала зростати з 2016 року, коли автовиробники були змушені оснащувати автомобілі автономними системами екстреного гальмування та системами попередження про виїзд за межі смуги руху для задоволення мінімальних вимог, необхідних для здобуття 5 зірок у рейтингу безпеки Euro NCAP. З появою автономних автомобілів значення систем ADAS під час проєктування нового автомобіля зросло ще більше[1]. Більшість

сучасних систем ADAS розраховані на втручання тільки в потенційно небезпечних ситуаціях, але автономні автомобілі намагаються радикально змінити враження від керування, тож технологію ADAS потрібно удосконалювати. Нові технології мають забезпечувати можливість автономного керування на високих швидкостях, поки пасажир зосереджуватиметься на інших справах, як-от робота або читання. Системи ADAS мають працювати за будь-яких умов руху, уповільнювати автомобілі в заторах та забезпечувати прискорення після їхнього зникнення. Крім того, у міру перетворення автомобілів на мобільні офіси пересувне житло та зони релаксації системи таких автомобілів мають забезпечувати відстеження місцевості на 360° довкола автомобіля. У майбутньому системи давачів водія взаємодіятимуть із захищеними автомобільними обчислювальними платформами високої потужності та штучним інтелектом, підтримку яких забезпечуватиме захищена хмарна інфраструктура. В системах ADAS використовуються автоматизовані технології, датчики і відеокамери, які призначені для виявлення перешкод і помилок водія (наприклад, його сонливості) та відповідного реагування. В якості технології візуалізації даних в ADAS застосовується доповнена реальність, у тому числі з відображенням інформації на лобовому склі автомобіля. Для підвищення ефективності ADAS розробники запроваджують адаптивний круїз-контроль з прогнозуванням траєкторій руху автомобілів, пішоходів та тварин, що рухаються у полі зору сенсорів ADAS. Автомобільні датчики в сучасних транспортних засобах стали невід'ємною частиною технологічного прогресу, забезпечуючи безпеку, ефективність та комфорт управління автомобілем. Основні принципи збору інформації з датчиків автомобіля відіграють ключову роль у забезпеченні оптимальної роботи автомобільної системи та забезпеченні водія змістовною та достовірною інформацією. Перший принцип полягає в надійності датчиків, що вимірюють різні параметри автомобіля. Датчики повинні бути точними та надійними, щоб забезпечити відповідність між виміряними значеннями та реальним станом автомобіля. Вони мають працювати

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		12

в широкому діапазоні умов, включаючи температуру, вологість та вібрації . Другий принцип збору інформації з датчиків - це точність та швидкість вимірювань. Для забезпечення високої точності датчики повинні мати мінімальну похибку вимірювання. Крім того, швидкість вимірювання грає важливу роль у виявленні та реагуванні на зміни параметрів автомобіля в реальному часі. Швидка реакція на небезпечні ситуації може врятувати життя пасажирів та підвищити загальну безпеку дорожнього руху. Третій принцип – це інтеграція та аналіз даних. Зібрана інформація з датчиків автомобіля повинна бути оброблена та інтегрована з іншими системами автомобіля, такими як системи керування двигуном, гальмами, електросистемами та іншими модулями. Інтеграція даних з датчиків дозволяє створити повну картину стану автомобіля, аналізувати його параметри та забезпечувати оптимальну роботу системи. Четвертий принцип – це передача інформації водію або іншим користувачам автомобіля. Одержана інформація повинна бути чіткою, зрозумілою та легко сприймається водієм. Інтерфейс між системою збору даних та водієм може бути представлений у вигляді приладової панелі, екрану інформаційно-розважальної системи або системи голосового управління. Ефективна передача інформації допомагає водію приймати своєчасні та обґрунтовані рішення на дорозі. Не менш важливим принципом є забезпечення конфіденційності та безпеки зібраної інформації. Оскільки датчики автомобіля можуть збирати чутливі дані, такі як місцезнаходження, швидкість, стан системи безпеки тощо, важливо забезпечити їх захист від несанкціонованого доступу та зловживання. Високотехнологічні автомобілі сучасності надають нам можливість збирати значну кількість даних з різних датчиків, що допомагає покращувати безпеку, ефективність та комфорт на дорозі. Основні принципи збору інформації з датчиків автомобіля – надійність, точність, швидкість вимірювань, інтеграція та аналіз даних, передача інформації водію та забезпечення конфіденційності та безпеки – виконують ключову роль у забезпеченні оптимальної роботи автомобільної системи та забезпеченні безпеки на дорозі. Ці принципи дозволяють забезпечити точну та

достовірну інформацію про стан автомобіля, що в свою чергу сприяє вчасному виявленню та розв'язання проблем, попередженню можливих аварійних ситуацій та покращенню загальної ефективності автомобіля. Принципи збору інформації з датчиків автомобіля є основою для розвитку новітніх технологій автомобільної промисловості, таких як системи допомоги при паркуванні, системи контролю мертвих зон, системи управління стабільністю та багато інших. Вони допомагають водіям бути більш свідомими, управляти автомобілем безпечніше та зменшувати ризики на дорозі. У подальшому розвитку автомобільних технологій основні принципи збору інформації з датчиків автомобіля будуть зосереджені на постійному вдосконаленні точності та швидкості вимірювань, розширенні функцій та можливостей датчиків, а також на розробці ще більш надійних та безпечних систем збору та обробки даних. Усе це дозволить створити сучасні автомобілі, що працюють на основі інтелектуальних систем, забезпечуючи максимальний рівень безпеки та комфорту для водіїв та пасажирів. Основні принципи збору інформації з датчиків автомобіля постійно еволюціонують, відіграючи вирішальну роль у розвитку автомобільної промисловості та створенні автомобілів майбутнього. Сучасні підходи до збору інформації з датчиків автомобіля базуються на використанні передових технологій, таких як інтернет речей (IoT), бездротовий зв'язок і обробка даних в реальному часі. Ось деякі з них : 1) комунікація через ОБД (онлайн-діагностика автомобіля). Більшість сучасних автомобілів мають систему діагностики, відому як ОБД-II (On-Board Diagnostics). За допомогою спеціального пристрою або бездротового з'єднання Bluetooth можна отримати доступ до даних ОБД автомобіля, таких як швидкість, оберти двигуна, рівень палива, стан систем безпеки тощо. Ці дані можуть бути використані для аналізу та моніторингу стану автомобіля; 2) використання датчиків у реальному часі, сучасні автомобілі мають велику кількість вбудованих датчиків, які зчитують різні параметри, такі як тиск у шинах, температура двигуна, прискорення, швидкість, кут нахилу та багато інших. Ці дані можуть бути зібрані і передані до

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		14

центральної системи у реальному часі для подальшого аналізу та використання;

3) використання бездротового зв'язку, автомобілі можуть бути обладнані модулями бездротового зв'язку, такими як GSM, Wi-Fi або Bluetooth, для передачі даних з автомобіля на зовнішні пристрої або в хмарні сервіси. Це дозволяє отримувати дані з автомобіля в реальному часі або навіть дистанційно керувати певними функціями автомобіля;

4) використання машинного навчання та аналітики даних: Зібрані дані з датчиків автомобіля можуть бути оброблені за допомогою методів машинного навчання та аналітики даних. Це дозволяє виявляти закономірності, прогнозувати відмови та аномалії, а також забезпечувати рекомендації щодо оптимального використання автомобіля, покращення його ефективності та безпеки;

5) використання датчиків зовнішнього середовища, окрім внутрішніх датчиків автомобіля, сучасні технології також використовують зовнішні датчики, такі як радары, камери та лазерні сканери (LiDAR). Вони забезпечують збір додаткової інформації про дорожнє середовище, інші транспортні засоби та пішоходів. Ці дані використовуються для систем безпеки, адаптивного керування та автономного водіння;

6) концепція «Vehicle-to-Everything» (V2X), передбачає безпроводову комунікацію автомобіля з різними елементами інфраструктури, такими як дорожні знаки, світлофори, інші автомобілі та навіть смартфони пішоходів. Це дозволяє отримувати інформацію про дорожні умови, небезпеки, дорожні роботи тощо, а також передавати інформацію про своє становище і наміри, покращуючи загальну безпеку та ефективність дорожнього руху.

Сучасні підходи до збору інформації з датчиків автомобіля використовують передові технології, такі як IoT, бездротовий зв'язок, аналітика даних та машинне навчання. Ці підходи дозволяють отримувати значну кількість даних про стан автомобіля, зовнішнє середовище та взаємодію з іншими елементами інфраструктури. Збір інформації з датчиків автомобіля в реальному часі дозволяє водіям та сервісним службам миттєво отримувати дані про стан автомобіля, що сприяє попередженню відмов та аварій. Використання машинного навчання та аналітики даних дозволяє

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

аналізувати великі обсяги даних з датчиків автомобіля, виявляти закономірності та прогнозувати можливі проблеми. Це сприяє покращенню ефективності автомобіля, зниженню ризику відмов та збільшенню безпеки. Використання бездротового зв'язку та хмарних технологій дозволяє передавати дані з автомобіля в реальному часі та зберігати їх в хмарних сховищах для подальшого аналізу та використання. Це сприяє зручнішому доступу до даних та спільному використанню інформації між різними користувачами та системами. Використання датчиків зовнішнього середовища та концепції V2X дозволяє отримувати інформацію про дорожнє середовище та навколишній трафік, покращуючи безпеку та ефективність дорожнього руху. Отже, основні принципи збору інформації з датчиків автомобіля базуються на передових технологіях та інтеграції різноманітних даних для забезпечення безпеки, ефективності та зручності водіння. Сучасні системи збору інформації з датчиків автомобіля забезпечують отримання даних в реальному часі. Це дозволяє водіям та сервісним службам отримувати актуальну інформацію про стан автомобіля та його компонентів, а також про дорожні умови та навколишнє середовище. Збір даних в реальному часі сприяє оперативній реакції на потенційні проблеми та забезпечує безпеку водіння. Сучасні автомобілі оснащені значною кількістю датчиків, які зчитують різноманітні параметри.[2] Ці датчики вимірюють такі величини, як швидкість, оберти двигуна, тиск у шинах, температура, рівень палива та багато інших. Збір інформації з цих датчиків дозволяє отримати повний образ про стан автомобіля та здійснювати контроль над різними аспектами його функціонування. Використання IoT технологій дозволяє забезпечити зв'язок між автомобілем та іншими пристроями або системами. Це дозволяє передавати зібрані дані з датчиків автомобіля до хмарних сервісів, автомобільних сервісних центрів або мобільних пристроїв користувачів. Існує 7 видів типових складових ADAS:

1. Система попередження про виїзд зі смуги;

2. Система автоматичної парковки;
3. Адаптивний круїз-контроль;
4. Електронний контроль стійкості (ESC, ESP);

Система кругового огляду.

1.2 Система попередження про виїзд зі смуги

Системи попередження про виїзд зі смуги та виявлення сліпих зон використовують камери для відстеження положення транспортного засобу в межах смуги руху, попереджаючи водія, якщо транспортний засіб ризикує ненавмисно перетнути розмітку смуги, коли не ввімкнено показчик повороту. Деякі системи використовують тактильні попередження, такі як вібрація керма або сидіння, тоді як інші використовують звукові та/або візуальні попередження. Деякі системи змушують транспортний засіб активно протистояти виїзду зі смуги руху або допомагають направити транспортний засіб назад у смугу за допомогою легкого гальмування або незначних коригувань керма. Попередження про виїзд зі смуги руху не зменшило показники страхових вимог, але зменшило кількість аварій з одним транспортним засобом, бічних зіткнень і лобових зіткнень, про які повідомлялося в поліцію. Коли автомобіль рухається по шосе або інших дорогах, система lane keeping system (LKS)/ lane departure warning (LDW) розпізнає білі (або жовті) розділові лінії та визначає положення автомобіля в межах смуги, використовуючи передню камеру розпізнавання об'єктів та датчик радара міліметрового діапазону.



Рисунок 1.1 - Стереο відеокамера

Якщо система визначає, що автомобіль може вийти зі смуги, в якій знаходиться, то вона вмикає зумер та індикатор LKS /LDW у щитку приладів, формує зусилля системи допомоги рульового керування та створює вібрацію рульового колеса, щоб водій міг вжити заходів та уникнути виходу зі смуги. Обидві системи використовують високоточні камери для розпізнавання дорожньої розмітки, навіть в умовах змінної освітленості, а деякі можуть мати додаткові датчики, такі як радари або лідари, для більш точного визначення положення автомобіля, особливо в умовах поганої видимості.

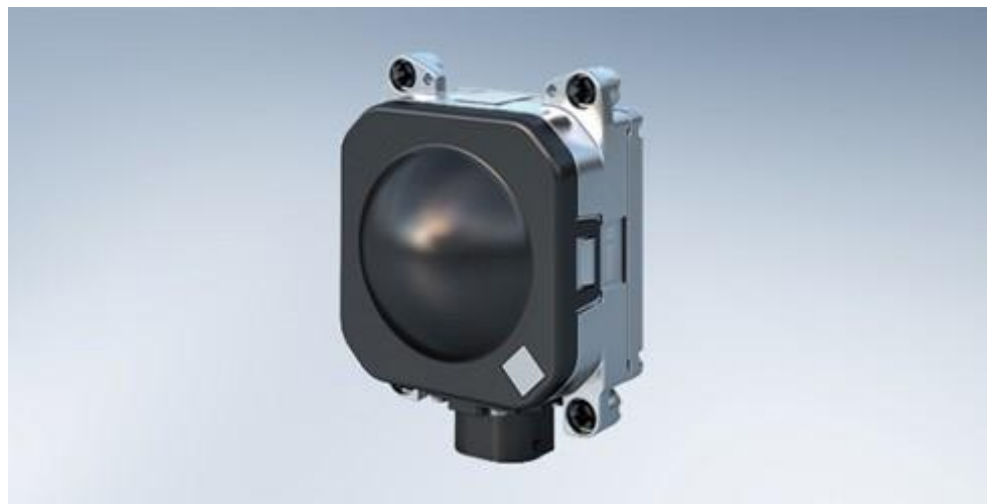


Рисунок 1.2 - Радар дальньої дії системи СОСЕТ



Рисунок 1.3 - Радар ближньої дії системи СОСЕТ

LDW, або попередження про виїзд зі смуги руху, використовує складні алгоритми машинного навчання для аналізу зображень та видає попередження, наприклад, звуковий сигнал або вібрацію керма, якщо автомобіль починає відхилятися від смуги без увімкнення поворотника, не втручаючись в керування. LKA, або допомога утриманню в смузі руху, на додаток до попереджень, може активно втручатися в керування, м'яко підкориговуючи рульове управління через електропідсилювач керма, щоб повернути автомобіль у межі смуги, а деякі системи LKA можуть навіть активно утримувати автомобіль у центрі смуги.

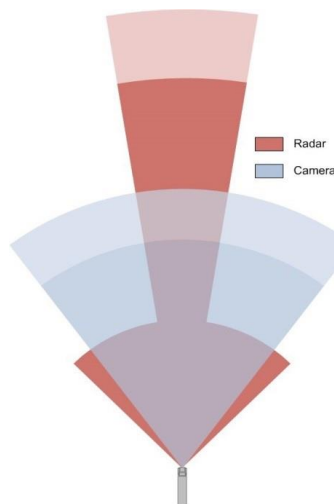


Рисунок 1.4 - Розподіл зон виявлення об'єктів між радаром і камерою.

Важливо пам'ятати, що ці системи мають обмеження: вони можуть не працювати, якщо дорожня розмітка стерта, пошкоджена або відсутня, в умовах поганої видимості, таких як сильний дощ, сніг або туман, на крутих поворотах, вузьких дорогах або при різкій зміні смуги руху, а також на бездоріжжі. Крім того, ці системи є допоміжними, і водій завжди несе відповідальність за керування автомобілем, не можна повністю покладатися на них та втрачати пильність. [3] Деякі системи LKA можуть працювати в парі з адаптивним круїз-контролем, що дозволяє автомобілю автоматично підтримувати безпечну відстань до інших транспортних засобів. Також існує підвид цієї системи, яка називається система запобігання фронтальному зіткненню призначена для втручання, коли транспортний засіб ось-ось зіткнеться з іншим транспортним засобом ззаду. Технологія використовує різні типи датчиків, такі як камери, радар або лідар — скорочено від виявлення та визначення дальності світла — для виявлення, коли транспортний засіб надто наближається до того, що попереду. Системи зазвичай видають попередження та попередньо заряджають гальма, щоб максимізувати їхній ефект. Більшість також застосовують гальма, якщо водій не реагує. Запобігання фронтальному зіткненню стає все більш універсальним, а його можливості — більш узгодженими між брендами, завдяки добровільному зобов'язанню 20 автовиробників, що представляють 99% продажів легких транспортних засобів у США, зробити цю технологію стандартною до вересня 2022 року. Зобов'язання, укладене IIHS та Національною адміністрацією безпеки дорожнього руху (NHTSA), вимагало, щоб транспортні засоби мали системи як з компонентом попередження про лобове зіткнення, який відповідав критеріям NHTSA, так і з автоматичним гальмуванням, яке досягало певного мінімального зменшення швидкості в трекових тестах IIHS. Багато систем запобігання фронтальному зіткненню можуть виявляти пішоходів, а деякі також розпізнають велосипедистів і тварин. Ці системи використовують передові алгоритми в поєднанні з датчиками та камерами, щоб виявити немоторизованих учасників дорожнього руху, які

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		20

перебувають на шляху транспортного засобу або збираються вийти на нього. Транспортні засоби, обладнані системами запобігання фронтальному зіткненню, набагато рідше вриваються в інші транспортні засоби ззаду, ніж ті самі моделі без цієї технології (Fildes et al., 2015; Isaksson-Hellman & Lindman, 2016; Cicchino, 2017). Дослідження Інституту показало, що системи з попередженням про лобове зіткнення та автоматичним гальмуванням скорочують кількість задніх зіткнень удвічі, тоді як лише попередження про лобове зіткнення зменшує їх на 27%. Системи автоматичного гальмування також значно зменшують кількість задніх зіткнень, що спричиняють травми. Окреме дослідження IIHS показало, що системи автоматичного гальмування, які розпізнають пішоходів, скорочують кількість зіткнень з пішоходами на 27% (Cicchino, 2022). Легкові автомобілі — не єдині транспортні засоби, які отримують переваги від систем запобігання фронтальному зіткненню. Подібні ефекти зменшення задніх зіткнень були виявлені для великих вантажівок, обладнаних системами запобігання фронтальному зіткненню (Teoh, 2021). HLDI провів дослідження, порівнюючи показники страхових вимог для легкових автомобілів, обладнаних системами запобігання фронтальному зіткненню, з показниками вимог для тих самих моделей без цієї технології. Транспортні засоби, обладнані цими системами, постійно демонструють нижчі показники вимог щодо пошкодження інших транспортних засобів і травм людей в інших транспортних засобах (HLDI, 2023). Виявлення пішоходів має працювати як удень, так і в темний час доби.

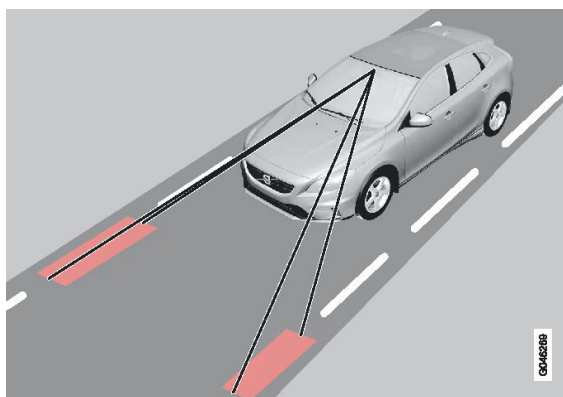


Рисунок 1.5 - Схема розпізнавання допозньої розмітки

1.3 Система автоматичної парковки

Електронні паркувальні асистенти в автомобілях дозволяють водіям легко маневрувати у вузьких місцях під час паркування. Паркувальні асистенти складаються з декількох ультразвукових датчиків, які інтегровані в задній і, залежно від моделі, передній бампери автомобіля. Коли відстань скорочується до мінімуму, водій отримує попереджувальний звуковий сигнал про небезпечно малу відстань. Оптичний паркувальний асистент разом із акустичним паркувальним асистентом допомагають водієві та розпізнають перешкоди спереду або позаду автомобіля. Розташування перешкод у зоні розпізнавання, графічно відображається на дисплеї аудіо або мультимедійної системи. Паркувальні асистенти складаються з декількох ультразвукових датчиків, які інтегровані в задній і, залежно від моделі, передній бампери автомобіля. Датчики отримують і надсилають імпульси в діапазоні 40 000 Гц. Якщо імпульс потрапляє на перешкоду, він відбивається. Так датчик фіксує ехо-сигнал. Електроніка використовує різницю в часі між відправленням і отриманням для обчислення відстані між перешкодою й автомобілем. Коли відстань скорочується до мінімуму, водій отримує попереджувальний звуковий сигнал про небезпечно малу відстань. Чотири основних підсистеми автоматичної системи паркування: виявлення місця паркування, планувальник руху, контролер руху, датчики.

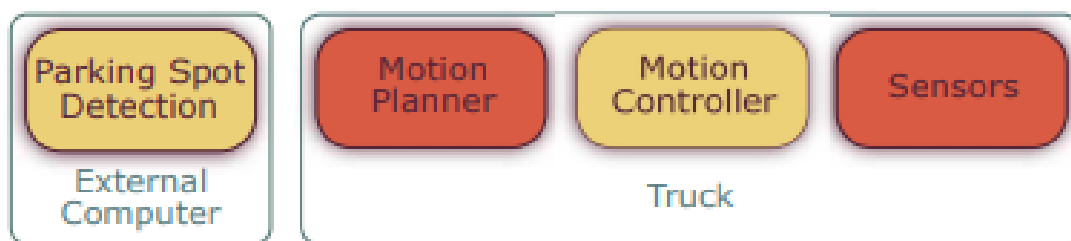


Рисунок 1.6 - Ілюстрація чотирьох підсистем APS.

Система виявлення місця паркування відповідає за створення карти навколишнього середовища, визначення місця, куди авто повинне їхати далі, і відстеження стану місії. Ця система працює на зовнішньому комп'ютері, підключеному до авто за допомогою кабелю. Планувальник руху, контролер руху та обробка сигналів розташовані на одному з комп'ютерів авто. Контролер руху можна розділити на поздовжній і бічний контролер. Датчики, які використовуються для оцінки стану вантажівки та навколишнього середовища, складаються з високопродуктивного GPS і двох датчиків виявлення світла та визначення дальності (Light Detection and Ranging - LIDAR). Глобальне позиціонування та напрямок доступні за допомогою кінематичної GPS у реальному часі (RTK-GPS), яка також називається покращенням фази несучої. На додаток до приймача RTK-GPS вимагає додаткового передавача базової станції з відомим положенням. Приймач використовує фазу несучої від додаткового передавача для визначення положення з точністю до сантиметра. Ця система також забезпечує з високою точністю курс авто відносно географічного північного полюса. Положення та напрямок уже відфільтровано, і положення транслюється на задню вісь. Автомобіль оснащений двома датчиками LIDAR; один датчик встановлено в передній частині вантажівки, спрямований вперед, а один датчик у задній частині вантажівки, спрямований назад, див. рисунок 3.6.

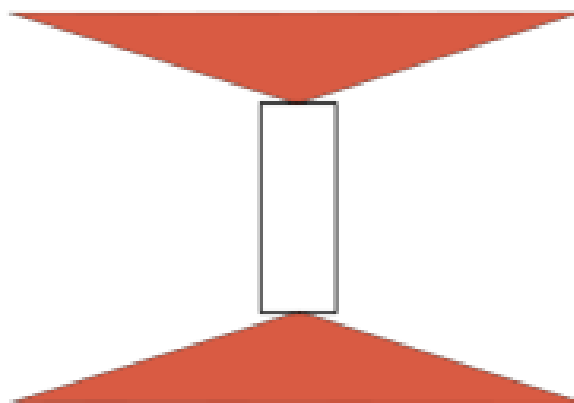


Рисунок 1.7 - Візуалізація розміщення датчика LIDAR і поля зору.

Обидва датчики LIDAR мають горизонтальне поле зору (FoV) 145 градусів. Датчики вимірюють послідовність вимірювань над полем огляду та видають 25 послідовностей вимірювань кожну секунду. Вимірювання наведено в метрах, і виконується фільтрація, щоб видалити вимірювання ближче ніж 0,5 м і далі 100 м. 3.2. Планувальник руху використовується для створення шляху між двома позиціями. Планувальник руху викликається з системи виявлення паркувального місця, коли авто повинне рухатися на нове місце. Вхідними даними для планувальника руху є одна або більше маршрутних точок, указаних у GPS-координатах, і курс відносно географічного північного полюса. Також потрібні поточне положення та напрямок, а також карта перешкод з інформацією про навколишнє середовище навколо вантажівки. Комірки сітки на карті перешкод можуть мати три різні стани:[4] зайнятий, близько до зайнятої комірки або порожній. Планування шляху через клітини сітки, які зайняті, заборонено. Планування шляху через клітини, які знаходяться поблизу інших зайнятих клітинок, спричиняє вищі витрати, ніж планування шляху через порожні клітинки сітки, які не знаходяться поблизу жодної зайнятої клітинки. Враховуючи ці вхідні дані, планувальник руху обчислює шлях від поточного положення автомобіля до потрібного місця паркування. Контролер слідування траєкторії потім використовується для виконання запланованого маневру шляхом стабілізації транспортного засобу навколо обчисленої траєкторії, він не враховує розмір транспортного засобу, не може гарантувати, що зіткнення не виникне, і тому з міркувань безпеки збільшує всі перешкоди на карті сітки. Планувальник руху — це решітчастий планувальник, який використовує примітиви руху, щоб знайти шлях із найменшою вартістю між поточною та бажаною цільовою позицією вантажівки. Примітив руху — це попередньо обчислений і можливий рух вантажівки, див. рисунок 3.4.

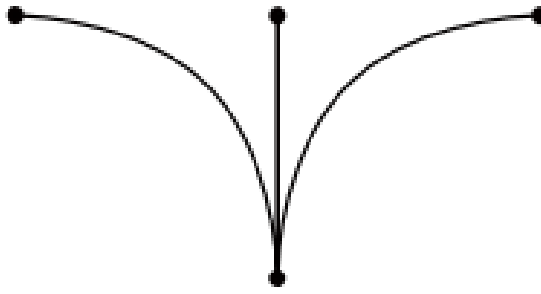


Рисунок 1.8 - Приклад трьох примітивів руху, що з'єднують чотири сітки точок.

Шлях будується шляхом комбінування кількох примітивів руху, поки дві точки шляху не з'єднаються. Для ілюстрації, комбінуючи примітиви руху, показані на рисунку 3.7, можна побудувати шлях, як на рисунку 3.8. У цьому прикладі початкова позиція – $(0,0)$ із заголовком $\pi/2$, а кінцева – $(1,4)$ із заголовком π , а кольорова лінія – це шлях, обчислений планувальником руху. Результатом є можливий шлях з інформацією про бажане положення, напрямок і кривизну в кожній точці шляху.

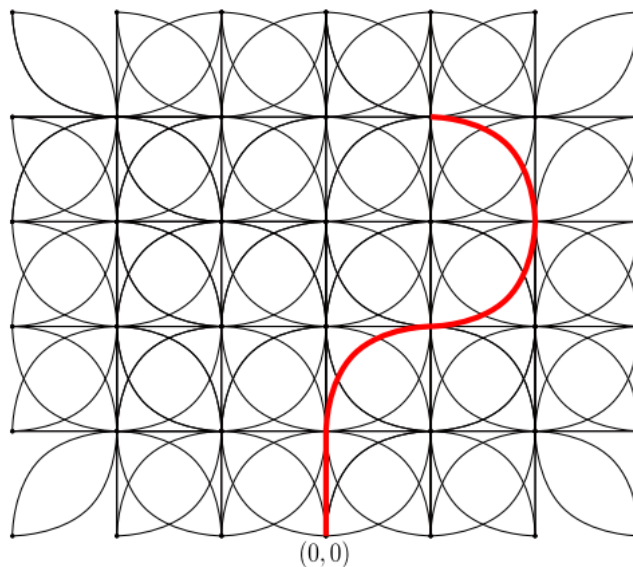


Рисунок 1.9 - Приклад із примітивами повторного руху з рисунка 3.7 і шлях, позначений червоним, що сполучає початкову точку $(0,0)$ із курсом $\pi/2$ і кінцева позиція $(1,4)$ із заголовком π .

1.4 Адаптивний круїз-контроль

Адаптивний круїз-контроль — це підсистема системи ADAS, яка окрім можливостей стандартного круїз-контролю, також стежить за відстанню до автомобіля, що їде попереду. За необхідності АСС вмикає гальмівну підсистему, тому залежить від систем безпеки автомобіля ABS та ESP (якщо будь-яка з них несправна, АСС вимикається). Першим повноцінним адаптивним «круїзом» з можливістю активації гальмівної системи вважають систему Distronic від Bosch. Вона дебютувала в 1999 році на Mercedes- Benz S-Class у кузові W220. Існує чотири типи круїз-контролю, а саме, починаючи від найпростішої системи, яка може підтримувати лише встановлену швидкість руху та закінчуючи складнішою системою, яка вміє автоматично змінювати смугу руху машини. Давайте розглянемо переваги та недоліки цих типів систем круїз-контролю.[6]

Перший з них обмежувач швидкості. Ця система в автомобілі виконує роль звичайного обмежувача максимальної швидкості. Наприклад, у деяких країнах на багатьох комерційних автомобілях встановлено обмеження швидкості 110 км/год. Машина при досягненні обмеженої максимальної швидкості просто перестає розганятися. Як правило, така система не попереджає водія про досягнення обмеженої швидкості. Подібне обмеження може встановлювати як сам водій, так і власник цього автотранспортного засобу, який веде бізнес у сфері комерційних перевезень і не бажає, щоб його водії перевищували встановлену певну швидкість руху на дорозі. Механічні обмежувачі швидкості транспортного засобу – це пристрої, призначені для обмеження максимальної швидкості автомобіля. Вони можуть зустрічатися в різних формах, включаючи старіші транспортні засоби та деякі комерційні автомобілі. Ось як вони зазвичай працюють: Керування дросельною заслінкою: Багато механічних обмежувачів працюють, обмежуючи положення дросельної заслінки. Вони використовують фізичний зв'язок, підключений до педалі газу. Коли транспортний засіб досягає

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		26

заданої швидкості, обмежувач запобігає повному відкриттю дросельної заслінки, тим самим обмежуючи потужність двигуна та швидкість. Деякі системи використовують механічний регулятор, який регулює подачу палива або впуск повітря, коли транспортний засіб наближається до встановленої швидкості, зменшуючи потужність двигуна. Механічні спідометри: У старіших транспортних засобах обмежувачі швидкості можуть покладатися на механічні спідометри, які вимірюють обертання коліс. Коли транспортний засіб досягає заданої швидкості, обмежувач спрацьовує. Кабельні або зубчасті системи: Ці системи можуть використовувати кабелі або шестерні, з'єднані з трансмісією або колесами, для зворотного зв'язку щодо швидкості. Багато механічних обмежувачів дозволяють попередньо встановлювати налаштування швидкості, які можуть бути відрегульовані оператором. Це зазвичай робиться шляхом зміни положення важеля або гвинта, який встановлює максимальну швидкість. Деякі обмежувачі використовують пружини та вантажі для створення фізичного бар'єру, який обмежує рух дросельної заслінки залежно від швидкості транспортного засобу. Системи на основі тертя можуть спрацьовувати на певних швидкостях, щоб обмежити подачу дросельної заслінки. У комерційних перевезеннях обмежувачі швидкості часто є обов'язковими для підвищення безпеки, паливної ефективності та відповідності нормам. Вони зазвичай встановлюються на максимальну швидкість (наприклад, 65 миль/год або 70 миль/год) і калібруються під час технічного обслуговування транспортного засобу. Другим видом є круїз контроль. Стандартний круїз-контроль є досить поширеною системою в багатьох сучасних нових автомобілях, включаючи ту саму систему (зазвичай при активуванні круїз-контролю на приладовій панелі з'являється шкала вибору необхідної швидкості і відповідний значок системи), де водій, спочатку вибирає швидкість руху машини а потім фіксує її, а далі машина починає підтримувати задану їй швидкість без участі водія. Тобто можна сміливо прибирати ногу з педалі газу і машина продовжуватиме рухатися на заданій швидкості. Але звичайний круїз-контроль не може підтримувати

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		27

безпечну дистанцію до інших автотранспортних засобів, тому водій самостійно повинен натискати гальмо педаль, щоб уникнути зіткнення. Адаптивний круїз-контроль є третім типом. Ця система, що працює за допомогою радарів або лазера, вона може не тільки підтримувати задану водієм швидкість руху, але й автоматично контролювати дистанцію до автомобілів, що йдуть попереду, і при необхідності знижувати швидкість, щоб уникнути зближення з іншими автотранспортними засобами.[7] Водій при включеному адаптивному круїз-контролі може в будь-який момент самостійно використовувати педаль гальма. Система регулює швидкість руху машини в залежності від трафіку на дорозі і самостійно приймає рішення про безпечну дистанцію, автоматично натискаючи і не тільки при необхідності на гальмо педаль, що сприяє суттєвій економії палива. На жаль датчики адаптивного круїз-контролю поки не досконалі і можуть бути просто “осліплені” (не бачити перешкоди на дорозі) в погану погоду. Також, сама електроніка може спрацьовувати мало ефективно. Наприклад, автомобіль може із запізненням реагувати на раптове уповільнення руху на дорозі. Тому, при включеному адаптивному круїз-контролі дистанція до автомобіля, що йде попереду, повинна бути досить великою (пристойною), а швидкість машини повинна відповідати загальному потоку машин, інакше ваш автомобіль може не встигнути вчасно загальмувати у разі різкого гальмування цього потоку машин, що йде попереду вас. В результаті всього цього, водії, що включають адаптивний круїз-контроль, часто стикаються з такою проблемою, коли їхній автомобіль розганяється або знижує швидкість не плавно, а якимись невизначеними ривками, що створює їм дискомфорт. Напіваавтономний круїз-контроль є останнім типом. Нові електронні системи ставлять цей сучасний адаптивний круїз-контроль на новий рівень (на один крок уперед), перетворюючи таким чином круїз-контроль на автономну технологію, яка здатна керувати машиною без участі водія. Це вже другий рівень розвитку адаптивного круїз-контролю, в результаті чого певні сучасні автомобілі отримують для себе вже напіваавтоматичний автопілот. На відміну від першого покоління

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		28

адаптивного круїз-контролю, друге покоління цієї системи здатне контролювати не тільки задану швидкість руху, але й забезпечувати в автоматичному режимі певну дистанцію до інших автотранспортних засобів, а також самостійно втручатися в кермо автомобіля. Проте говорити про те, що в сучасних автомобілях з'явився справжній автопілот, який ми вперше побачили у фантастичних фільмах, поки що рано. Тому ця система і називається "напівавтоматичним автопілотом". Справа тут ось у чому, незважаючи на можливість керування автомобілем без участі водія більшість цих систем, конкретно не бачить навколо себе повністю всі автомобілі і не може в повному обсязі контролювати місцевість по якій рухається машина. Так що друзі запам'ятайте, якщо ваш автомобіль оснащений напівавтоматичним автопілотом, ви все одно постійно повинні контролювати ситуацію на дорозі і в разі небезпеки відразу втручатися в кермо. Напівавтоматичні системи автономного водіння, що зустрічаються в деяких сучасних автомобілях, можуть відрізнятися як за складністю, так і алгоритмом своєї роботи. Наприклад, напівавтопілот може допомагати водієві змінювати смуги руху, контролювати рух у заданій смузі, регулювати швидкість машини відповідно до даних GPS/Глонасс і навіть розпізнавати дорожні знаки. Можна сказати, це гідні показники для такої системи. Датчики системи завжди повинні бути очищені від снігу, бруду, пилу або піску, що в звичайних дорожніх умовах не завжди можливо. Таким чином, треба пам'ятати, що для ефективної роботи напівавтоматичних систем адаптивного круїз-контролю необхідно постійно очищати всі сенсори та датчики від різного бруду. Також подібні системи знижують концентрацію знаходження водія за кермом, що не сприяє збільшенню безпеки на дорозі. Адже це не повний автопілот і водій повинен зуміти швидко, у разі виникнення небезпеки або в екстреній ситуації на дорозі, прийняти керування машиною на себе. Будь-який адаптивний круїз-контроль складається з «вимірювача відстані» - радара, лідара або пари камер, а також блоку управління, пов'язаного зі штатним блоком ABS та з гідронасосом. Помпа створює тиск в гальмівній системі, не чекаючи сигналу

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		29

від педалі гальма. Існує кілька варіантів адаптивного «круїзу», які розрізняють за «органами зору» для контролю дистанції. Найпростіші системи для сканування простору спереду використовують один радар. Він встановлюється за ґратками радіатора, під емблемою, або в районі салонного дзеркала і ловить свої ж відбиті радіохвилі. Саме тому, нові авто з адаптивним круїз-контролем мають плоску двомірну емблему, а без цієї системи - об'ємну. В преміальних автомобілях може використовуватися два, а то і три радари з різним радіусом дії, що робить роботу системи більш точної та спритнішою. Всі датчики мають радіус дії від 150 до 300 метрів. Систему біноккулярного комп'ютерного зору на своїх автомобілях використовує Subaru. Дві камери розташовуються в салоні біля дзеркала й уважно «дивляться» на дорогу, дозволяючи системі реагувати на зміну ситуації.



Рисунок 1.10 - Візуалізація визначення відстані до перешкоди системою адаптивного круїз-контролю

Одним радаром або парою камер сьогодні вже нікого не здивувати: щоб використовувати вкладені в «органи чуття» кошти, автовиробники, крім круїз-контролю, прив'язують до них різноманітні по функціоналу електронні асистенти. Наприклад, система зчитування дорожніх знаків сама може розпізнавати обмеження швидкості та знижувати заданий водієм темп. Так вміє робити чимало нових автомобілів - від Ford і Volkswagen до Land Rover, Porsche тощо. Також адаптивний круїз-контроль часто немислимий без системи

центрування в смузі, яка не просто «відштовхує» машину від однієї розмітки до іншої, але може вести автомобіль в смугі, навіть якщо дорога звивається.



Рисунок 1.11 - Візуалізація роботи системи центрування в смугі

На сьогодні існує два основні види адаптивного круїз-контролю — це радарний та лазерний. Радарний круїз-контроль більш ефективний в складних погодних умовах (сніг/дощ), але і дорожчий за лазерні аналоги.

1.5 Електронний контроль стійкості

Електронний контроль стійкості (ЕКС) — активна система безпеки автомобіля, що дозволяє запобігти заносу за допомогою управління комп'ютером моментами сили колеса (одночасно одного чи декількох). Є допоміжною системою автомобіля.



Рисунок 1.12 - Графічний символ для означення системи електронного контролю стійкості

Експерти називають систему ЕКС найважливішим винаходом у сфері автомобільної безпеки після ременів безпеки. Вона забезпечує водієві кращий контроль за поведінкою автомобіля, стежачи за тим, щоб він переміщався у тому ж напрямку, куди повертають рульове колесо. За даними американського Страхового інституту дорожньої безпеки і Національної Адміністрації Безпеки Дорожнього Транспорту NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), можна було б запобігти приблизно одній третині дорожньо-транспортних пригод із смертельними наслідками за рахунок системи ЕКС, якщо б нею були оснащені всі автомобілі. З технічної точки зору систему ЕКС можна розглядати як розширений варіант антиблокувальної системи гальм (АБС). Багато вузлів об'єднані з системою АБС, але, на додачу до її складових частин, ЕКС вимагає наявності таких компонентів, як датчик положення керма і акселерометр бокових прискорень, які стежать за процесом реального повороту автомобіля.[8]

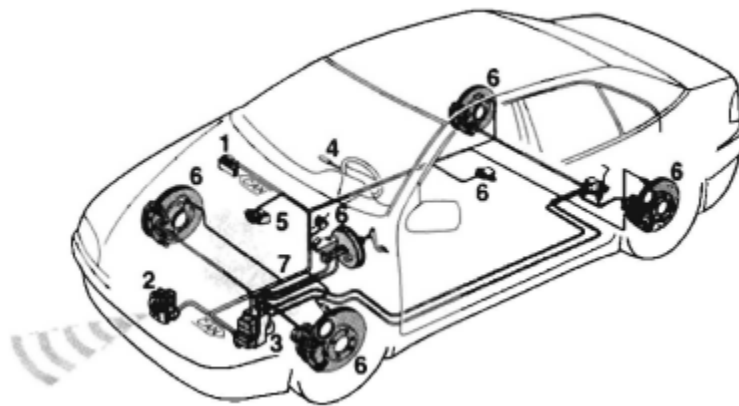


Рисунок 1.13 - схема антиблокувальної гальмівної системи (ABS) автомобіля.

При невідповідності показань акселерометра до показань датчика повороту керма, система застосовує гальмування одного (або кількох) коліс транспортного засобу для того, щоб запобігти початку заносу. Найбільшим виробником систем електронного контролю стійкості автомобіля є група компаній Robert Bosch GmbH під торговою маркою ESP. Електронна програма

стабілізації або, як її зазвичай називають, система стабілізації руху. Спрацьовує ESP в небезпечних ситуаціях, коли можлива або вже відбулася втрата керованості автомобілем. Шляхом пригальмовування окремих коліс система стабілізує рух. Вона вступає в роботу, коли, наприклад, через велику швидкість при проходженні правого повороту передні колеса зносить із заданої траєкторії в напрямку дії сил інерції, тобто по радіусу більшому, ніж радіус повороту. ESP в цьому випадку пригальмовує заднє колесо, що йде по внутрішньому радіусу повороту, надаючи автомобілю велику обертальність і направляючи його в поворот. Одночасно з пригальмовуванням коліс ESP знижує оберти двигуна. Якщо при проходженні повороту відбувається занос задньої частини автомобіля, ESP активізує гальмо лівого переднього колеса, що йде по зовнішньому радіусу повороту. Таким чином, з'являється момент протидії розвертанню, що виключає бічний занос. Коли ковзають всі чотири колеса, ESP самостійно вирішує, гальмівні механізми яких коліс повинні вступити в дію. Час реакції ESP — 20 мілісекунд. Працює система на будь-яких швидкостях і в будь-яких режимах руху. Дана система поки є найефективнішою системою безпеки з огляду втрати керованості та/або стійкості. Вона здатна компенсувати помилки водія, нейтралізуючи і виключаючи занесення, коли контроль над автомобілем вже втрачений. Безумовно, ESP високоефективна система, але її можливості не безмежні. Причиною цього є закони фізики, змінити які електроніка не в силах. Тому якщо радіус повороту дуже малий або швидкість в повороті перевершує розумні межі, навіть найдосконаліша програма стабілізації руху тут не допоможе. Система ESP була створена в 1995 році, але «вголос заявити про себе» їй вдалося тільки через два роки, коли дебютував перший компактний Mercedes-Benz A-класу. При його проектуванні були допущені серйозні помилки, які привели до того, що нова модель мала схильність до перекидання навіть на не дуже високій швидкості під час виконання маневрів типу «перестроювання» («лосиний» тест, «об'їзд перешкоди»). Перед інженерами компанії Daimler-Benz стало непросте завдання: як, не перепроєктуючи заново автомобіль і зберігши

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		33

його споживчі якості, вирішити проблему підвищення стійкості. Це завдання було вирішене в значній мірі за рахунок установки з лютого 1998 року на автомобілі Mercedes-Benz А-класу відповідним чином налагодженої системи ESP. Головний контролер ESP — це пара мікропроцесорів, кожний з яких має по 56 Кбайт пам'яті. Система дозволяє, наприклад, зчитувати й обробляти значення, що видаються датчиками швидкості обертання коліс з 20-ти мілісекундним інтервалом. Прослизування коліс регулюється при гальмуванні та прискоренні і, таким чином, істотно заважає динаміці автомобіля в поздовжньому напрямку активне керування нищпоренням обертає автомобіль навколо своєї вертикальної осі. Це робиться шляхом втручання у індивідуальний процес гальмування окремої людини. колесо та регулювання поточного крутного моменту двигуна без що водій повинен стати активним. ESP в основному складається з трьох компонентів: датчиків, електронного блоку управління і серводвигунів. Система курсової стійкості працює в будь-яких умовах керування та експлуатації. За певних умов водіння функція ABS/TCS може працювати одночасно з функцією ESC активується за командою водія. Якщо функція контролю стійкості виходить з ладу, основна функція безпеки ABS продовжують підтримуватися.

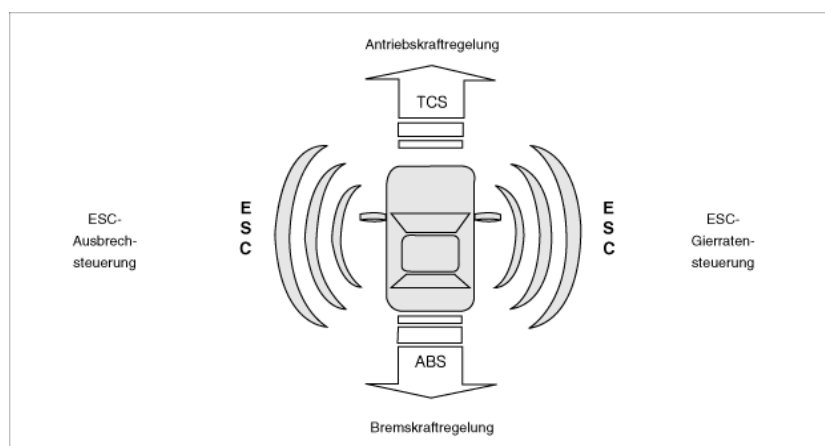


Рисунок 1.14 - Схема взаємодії основних систем активної безпеки автомобіля.

Система ESC включає в себе функції ABS/EBD, TCS та АУС. Функція ABS/EBD: ЕБУ перетворює активний сигнал датчика (поточний об'єм), що надходить від чотирьох колісних датчиків, в прямокутну хвилю. При отриманні вищезгаданих сигналів ЕБУ розраховує швидкість руху та прискорення, і гальмування чотирьох коліс. Крім того, ЕБУ визначає, чи включена система ABS/EBD, чи повинна бути включена чи ні. Функція TCS запобігає прослизанню коліс у напрямку руху. Додавання гальмівного тиску та зниження крутного моменту двигуна через шину CAN. Функція TCS використовує сигнал датчика швидкості обертання колеса для визначення прослизання колеса, що стосується роботи АБС. Функція АУС запобігає нестійкому маневруванню автомобіля. Для визначення маневрів автомобіля функція АУС використовує сигнали датчика маневрування (датчик кута ристання, датчик поперечного прискорення, датчик кута повороту рульового колеса). Якщо маневр автомобіля нестабільний (надмірна або недостатня повертаність), функція АУС подає гальмівний тиск на конкретне колесо та надсилає сигнал для зменшення крутного моменту двигуна через CAN. Після включення запалювання ЕБУ безперервно діагностує несправність системи (самодіагностика). При виявленні несправності системи ЕБУ інформує водія через контрольну лампу BRAKE/ABS/ESC через несправність системи (попередження про безпеку).[9]

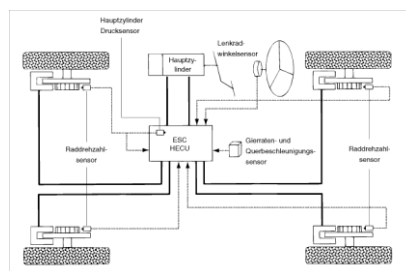


Рисунок 1.15 - Схематичне розташування датчиків та компонентів антиблокувальної гальмівної системи (ABS) та системи електронного контролю стійкості (ESC) в автомобілі.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ АСС З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ

2.1 Функціональні вимоги

У дослідженні [12] було виявлено, що система АСС має певний ризик зіткнення ззаду при слідуванні за іншими транспортними засобами. Цей ризик змушує водія керувати транспортним засобом у небезпечних ситуаціях. Крім того, такі недоліки безпеки системи АСС можуть призвести до серйозних економічних втрат та витрат на проживання.

На даний час поширеними методами аналізу надійності систем АСС є аналіз тестових випадків та моделювання сценаріїв водіння. Однак, методи тестування та моделювання недостатньо всеосяжні для аналізу безпеки систем АСС, що може призвести до серйозних загроз безпеці. Крім того, цей вид методу перевірки безпеки вимагає великої кількості тестових даних, що призводить до величезних витрат на тестування та зниження ефективності тестування. У порівнянні з вищезгаданими методами, методи формального моделювання можуть бути використані для моделювання систем з математичної точки зору, а моделі систем можуть суворо відповідати формальним специфікаціям[14]. Крім того, метод формального моделювання може проводити більш всеосяжний аналіз безпеки системи АСС, що є ефективним доповненням до методів програмного моделювання та тестування. Отже, дуже важливо проводити формальну верифікацію на ранній стадії проектування та розробки системи АСС, що може уникнути пов'язаних недоліків безпеки та підвищити надійність системи АСС. У формальному методі існують бар'єрні сертифікати, які використовуються для доведення неможливості переходу з небезпечного стану в безпечний. Посилання застосовують бар'єрні сертифікати до перевірки безпеки системи АСС та доводять її ефективність за допомогою експериментів. Аналіз досяжності є поширеним методом перевірки безпеки серед методів формального моделювання. Його основний принцип роботи полягає в обчисленні всіх наборів

станів, що генеруються під час роботи системи, та перевірки, чи має набір станів небезпечний стан. Якщо в наборах станів системи АСС немає небезпечного стану, безпека та коректність відповідної системної моделі можуть бути гарантовані. Оскільки більшість системних операцій є паралельними та складними, це неминуче призводить до експоненційного збільшення кількості станів у наборі станів. Хоча формальний метод може повністю перевірити безпеку системи АСС, він також стикається з багатьма обмеженнями, такими як вибух станів. Тому уникнення проблеми вибуху станів є дуже важливим та значущим[13]. У вищезгаданих дослідженнях ні метод програмного тестування, ні формальний метод не використовуються для перевірки безпеки системи АСС з синхронної точки зору. Через процес роботи системи АСС та руху транспортного засобу нескладно виявити, що цей процес по суті є синхронізацією швидкостей двох транспортних засобів. Щоб гарантувати стабільність слідування за транспортним засобом, коли швидкість переднього транспортного засобу змінюється, задній транспортний засіб повинен вчасно виконати те саме коригування швидкості, щоб підтримувати стабільність відстані від переднього транспортного засобу. Ступінь синхронізації між двома безпосередньо впливатиме на можливість зіткнення ззаду. Мережа Петрі — це графічна формальна модель, яка може інтуїтивно розкривати суть процесу роботи системи за допомогою відповідної схеми моделювання [15]. Щодо складних паралельних систем, таких як системи АСС. Мережі Петрі можуть не тільки ієрархічно зображати структуру системи, але й інтуїтивно та динамічно зображати явища паралелізму та конфлікту в процесі роботи системи. Ломазова та інші досліджували адаптивний процес на основі вкладених мереж Петрі та отримали хороші результати. Посилання пропонує новий підхід до моделювання виробничих процесів на основі математичного апарату розширених мереж Петрі. Крім того, мережі Петрі також мають класичну теорію синхронної моделі, яка підходить для моделювання явищ синхронізації. Вищезгадані характеристики мереж Петрі допомагають додатково покращити надійність системи АСС. На

основі вищезгаданих досліджень легко виявити, що принцип роботи системи АСС по суті є синхронним процесом. Високі синхронні характеристики системи слугують основою для побудови моделі Петрі АСС у процесі слідування за транспортним засобом, потім надійність системи АСС додатково аналізується та покращується[19].

2.2 Огляд концепцій

У цьому розділі розглянуто базові поняття.:

Визначення 1[16]. Система місце/перехід — це шість-кортеж $\Sigma=(S,T,F,K,W,M)$, де

S — скінченна множина місць, що представляє стан системи.

1. T — скінченна множина переходів, що представляє дії системи, де $S \cap T = \emptyset$.

2. $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ — множина спрямованих дуг, що представляє зміну станів системи, де $\text{dom}, \text{cod}(F) = \{x \in S \cup T | \exists y \in S \cup T: (x, y) \in F\}$, $\text{cod}(F) = \{x \in S \cup T | \exists y \in S \cup T: (y, x) \in F\}$,

3. $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = S \cup T$.

4. $K: S \rightarrow \mathbb{N}$ — функція ємності, яка визначає ємність місця.

5. $W: T \rightarrow \mathbb{N}$ — функція ваги, яка визначає токен, переданий дугою.

6. M — маркування Σ' , що представляє стан мережі Петрі, де $\forall s \in S: M(s) \leq K(s)$, M_0 — початкове маркування.

Визначення 2[17]. Правило спрацьовування переходу $\Sigma, \bullet t, t \bullet$ представляє передній та задній набори "t".

1. Для $\forall t \in T$, якщо

$$\forall s \in \bullet t: M(s) \geq W(s, t)$$

$$\forall s \in t \bullet - \bullet t: M(s) + W(t, s) \leq K(s)$$

$$\forall s \in t \bullet \cap \bullet t: M(s) + W(t, s) \leq K(s)$$

то перехід t увімкнено, позначається як $M[t >]$.

Якщо $M[t > M']$, тоді для $\forall s \in S$

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - W(s, t), & \text{if } s \in \bullet t - t \bullet \\ M(s) + W(t, s), & \text{if } s \in t \bullet - \bullet t \\ M(s) + W(t, s) - W(s, t), & \text{if } s \in \bullet t \cap t \bullet \\ M(s), & \text{інші} \end{cases}$$

Визначення 3[18]. Загальний граф маркування T .

Граф маркування T_N — це особливий вид мережі Петрі $N = (S, T, F, K, W, M)$, де $\forall s \in S: |\bullet s| = |s \bullet|$. Його можна спростити до спрямованого графа. Це певною мірою відображає переваги графічного зберігання мережі Петрі.

Визначення 4[20]. Справедливість мереж Петрі.

Нехай $\Sigma = (S, T, F, K, W, M)$ — це мережа Петрі, $t_1, t_2 \in T$, $\#(t_i/\sigma)$ представляє кількість разів, коли перехід t_i з'являється в послідовності переходів σ . Якщо існує додатне ціле число k , яке робить $\forall M \in R(M_0)$ та $\forall \sigma \in T^*: M[\sigma > meet: \#(t_1/\sigma) = 0 \rightarrow \#(t_2/\sigma) \leq k(t_1 \neq t_2)]$, тоді t_1 та t_2 є справедливими. Якщо $\forall t_i, t_j \in T$ є справедливими, тоді Σ є справедливою.

Визначення 5[21]. Синхронна відстань.

$\Sigma = (S, T, F, K, W \sim, M)$ — це мережа Петрі, для $t_1, t_2 \in T$, синхронна відстань t_1 та t_2 становить:

$$a(t_1, t_2) = \begin{cases} \infty, & \text{if } t_1 \text{ and } t_2 \text{ є несправедливим} \\ \max_{t_i, t_j \in T} \{ \#(t_j/a) \mid \exists M \in R(M_0): M[a > \wedge \#(t_i/a) = 0 \wedge i, j \in 1, 2 (i \neq j)] \}, & \text{інші} \end{cases}$$

2.3 Схема моделювання

На рисунку 1 показано регулювання швидкості та відстані системою АСС під час процесу слідування за транспортним засобом. Цей процес по суті є синхронізацією наступного транспортного засобу з переднім транспортним засобом. Коли швидкість переднього транспортного засобу змінюється, відстань між двома транспортними засобами також відповідно змінюється. Щоб підтримувати відносно постійну відстань між двома транспортними засобами, наступний транспортний засіб повинен виконати те саме коригування швидкості, що й передній транспортний засіб. Ступінь синхронізації між двома безпосередньо впливає на ризик зіткнення ззаду. Якщо синхронізація процесу висока, відстань між двома транспортними засобами буде змінюватися в межах постійного діапазону. В іншому випадку зміна відстані між двома транспортними засобами є надзвичайно різкою, що дуже ймовірно може призвести до зіткнення ззаду. Це потрібно відобразити в моделі. Властивості та структура мереж Петрі можуть відображати паралелізм та синхронний зв'язок систем, що дуже підходить для моделювання цього процесу[22]. Після цього будуть представлені відповідні правила моделювання. Місце в мережі Петрі використовується для представлення стану різниці швидкостей між двома транспортними засобами або різниці між фактичною та безпечною відстанню. Перехід у мережі Петрі використовується для представлення перемикання станів транспортного засобу під час процесу слідування. Дуги в мережі Петрі використовуються для представлення передачі інформації про синхронізацію під час процесу слідування.

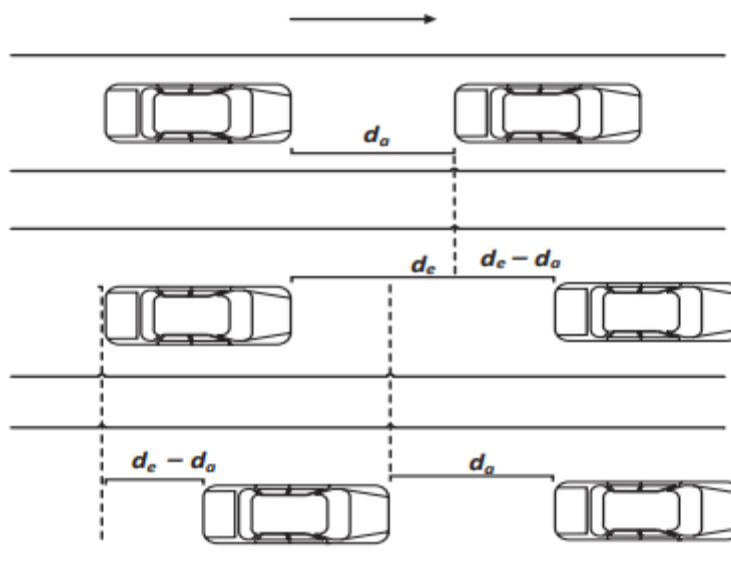


Рисунок 2.1 - Схематична діаграма АСС.

Відповідно до вищезгаданих правил моделювання, ми можемо представити наступну модель процесу системи АСС, в якій основні елементи та їх значення показані в Таблиці 2.1. У поздовжньому діапазоні основними діями транспортного засобу є прискорення та уповільнення. Тому ми ділимо стани транспортного засобу на три стани:

- низька швидкість;
- буферизація;
- висока швидкість.

Коли транспортний засіб переходить зі стану низької швидкості до стану високої швидкості, він повинен пройти через стан буфера. Аналогічно, коли транспортний засіб переходить зі стану високої швидкості до стану низької швидкості, він також повинен пройти через стан буфера.

На рисунку 2.2 моделі переднього та поточного транспортних засобів з'єднані сигнальними місцями S3 та S4. У цей час передній транспортний засіб знаходиться в стані низької швидкості, і перехід T2 може спрацювати, що означає, що передній транспортний засіб може прискоритися до стану високої швидкості. Після спрацювання переходу T2 передній транспортний засіб

завершує прискорення, і сигнальне місце S3 отримує токен. Токен у сигнальному сховищі S3 переводить перехід T5 в увімкнений стан, що вказує на те, що поточний транспортний засіб отримує інформацію про прискорення переднього транспортного засобу. Поточний транспортний засіб повинен прискоритися так само, як і передній транспортний засіб, щоб підтримувати постійну відстань між двома транспортними засобами, що може уникнути зіткнень ззаду, спричинених надмірними змінами відстані[23]. Тому переходи T5 та T3 знаходяться в синхронному зв'язку. Аналогічно, інші переходи також знаходяться в такому послідовному синхронному зв'язку. Отже, може бути побудована мережа Петрі процесу слідування за транспортним засобом у системі АСС.

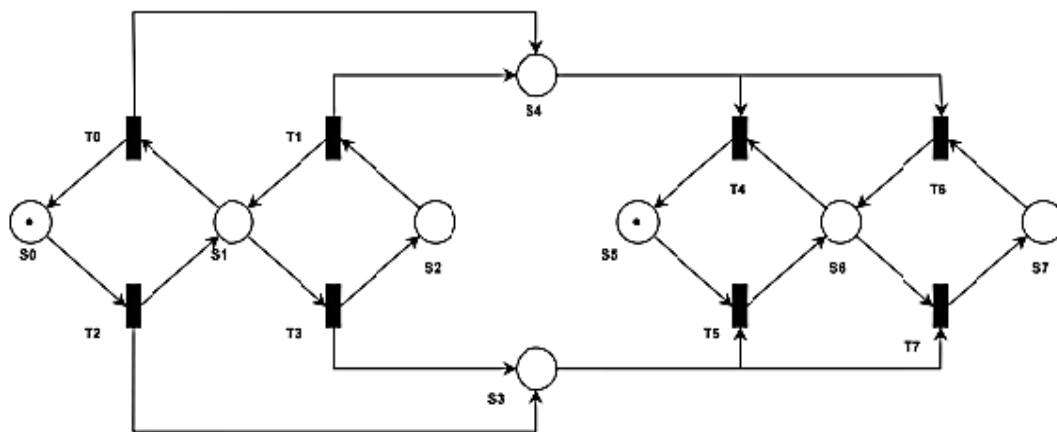


Рисунок 2.2 - Мережа Петрі АСС.

Елемент	Тип	Значення
S0	Місце	Стан низької швидкості переднього транспортного засобу
S1	Місце	Стан буфера
S2	Місце	Стан високої швидкості переднього транспортного засобу
S3	Місце	Сигнал прискорення
S4	Місце	Сигнал уповільнення

S5	Місце	Стан низької швидкості поточного транспортного засобу
S6	Місце	Стан буфера
S7	Місце	Стан високої швидкості поточного транспортного засобу
T0	Перехід	Уповільнити
T1	Перехід	Уповільнити
T2	Перехід	Прискорити
T3	Перехід	Прискорити
T4	Перехід	Уповільнити

Таблиця 2.1 Перелік елементів мережі Петрі АСС

Синхронні сигнальні місця S3 та S4 можуть відображати силу вищезгаданих синхронних зв'язків у мережі Петрі АСС. Чим більше токенів накопичується в сигнальному місці, тим гірша синхронізація двох транспортних засобів. Модель точно відображає паралелізм, послідовність та синхронізацію системи АСС у процесі слідування за транспортним засобом. Це закладає міцну основу для аналізу ризику зіткнення ззаду з точки зору теорії синхронізації в наступному розділі[24].

2.4 Аналіз ризиків

У цьому розділі ми проведемо аналіз ризиків для моделі мережі Петрі системи АСС, сформульованої у попередньому підрозділі, та додатково її покращимо. Аналізуючи мережу Петрі на рисунку 2.2, легко виявити, що кількість станів у графі досяжного маркування моделі мережі Петрі є нескінченною, що пов'язано з необмеженістю сигнального місця. Нескінченні стани неминуче призводять до вибуху станів. Щоб представити нескінченні

стани у скінченній формі, ми використовуємо граф покриття маркування. Рисунок 2.3 показує граф покриття маркування, що відповідає моделі мережі Петрі системи АСС. Крім того, нескінченні стани також показують, що зв'язок між переходами в моделі є несправедливим. Згідно з Визначенням 3, синхронна відстань несправедливого зв'язку переходів є нескінченною. Чим більша синхронна відстань між переходами, тим нижча синхронізація.

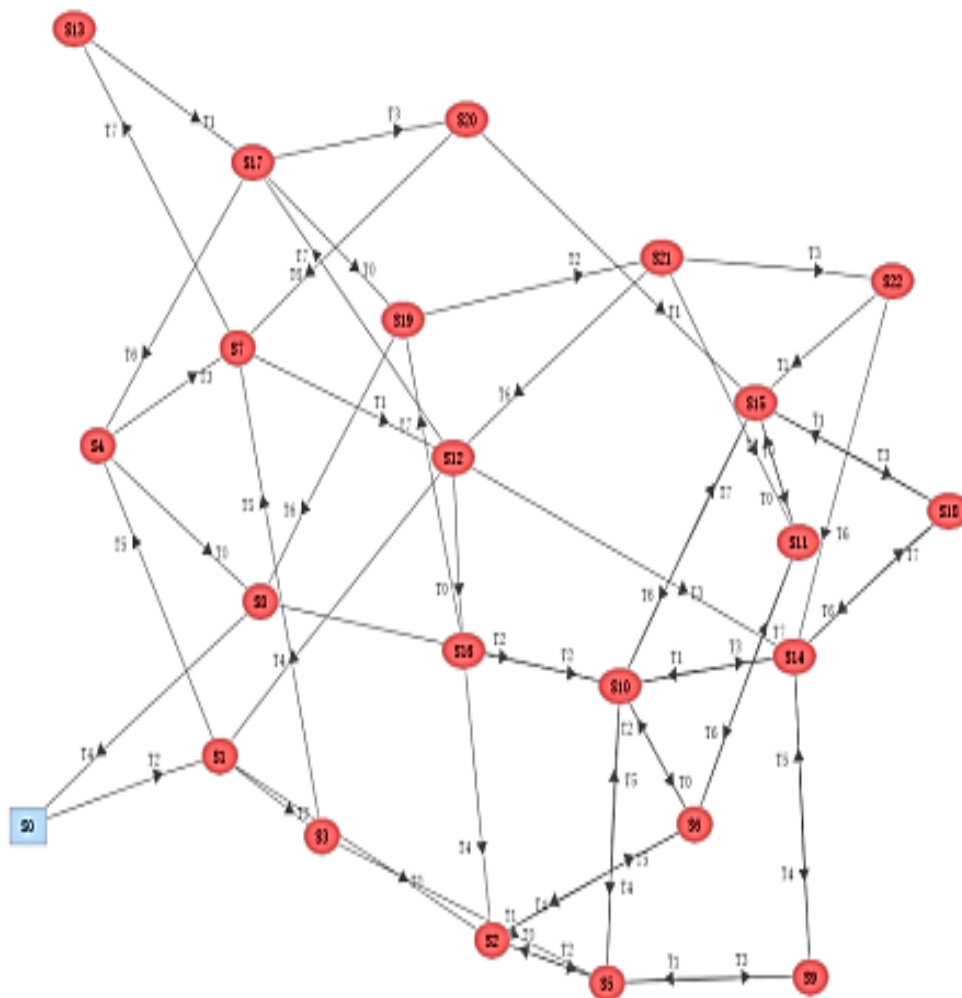


Рисунок 2.3 - Граф досяжного маркування мережі Петрі АСС.

З іншого боку, необмеженість сигнального місця призведе до виникнення ризикових аварій. Алгоритм 1 показує відповідні методи виявлення ризиків, де М.5 представляє п'ятий компонент М. Коли швидкість переднього транспортного засобу часто змінюється, кількість сигналів, отриманих

сигнальним місцем, збільшуватиметься. У цей час ємність сигнального місця буде необмеженою, що призведе до поганої синхронізації між двома транспортними засобами під час наступного процесу. Погана синхронізація двох транспортних засобів призведе до ризикових аварій. Тому забезпечення обмеженості сигнального місця є ключем до зменшення ризикових аварій.

Алгоритм 1: Алгоритм ідентифікації ризиків АСС.

Input: Petri Net of ACC

Output: A risky marking set Ψ

1. $\Psi = \emptyset$;
2. Get the reachable marking graph under M_0 ;
3. Define an empty queue Q ;
4. if $M_0 = \text{none}$ then
 - Return none;
5. $Q.add(M_0)$;
6. while $Q \neq \text{none}$ do
 - $M = Q.output()$;
 - if $\forall t \in T : \neg M[t >]$ then
 - Return to step6;
 - else
 - if $M.4 \geq 2 \parallel M.5 \geq 2$ then
 - $\Psi = \Psi \cup \{M\}$;
 - Calculate M_0 , $\forall t \in T : M[t > M_0$;
 - $Q.add(M')$;
 - $Q = Q.next()$;

У поєднанні з вищезгаданим аналізом, ми додаємо два місця до моделі, щоб забезпечити обмеженість сигнального місця, як показано на рисунку 4. Далі ми проводимо аналіз ризиків для покращеної мережі Петрі АСС.

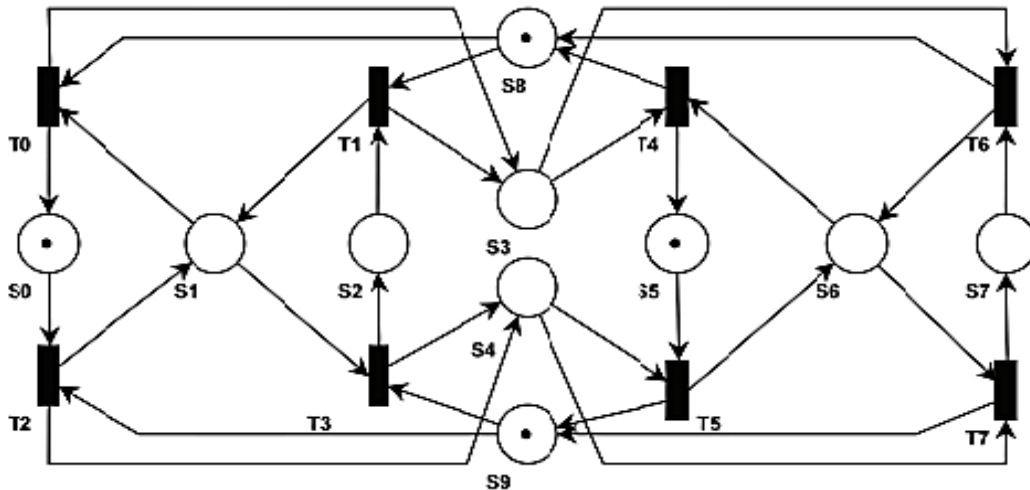


Рисунок 2.4 - Покращена мережа Петрі ACC.

1. Справедливість Нехай $IPN (Improved Petri Net) = (S, T, F, K, W, M)$ буде покращеною мережею Петрі ACC. Для $\forall M' \in R(M_0), \forall t_1, t_2 \in T \forall \sigma \in T^*, M[\sigma > meet: \#(t_1/\sigma) = 0 \rightarrow \#(t_2/\sigma) \leq 1$. Згідно з Визначенням 4, $\forall t_1, t_2 \in T$ в IPN є справедливими. Тому IPN є справедливою мережею, що гарантує, що синхронна відстань переходу в покращеній мережі Петрі не буде нескінченною.

2. Обмеженість В IPN, для $\forall s \in S, B(s) = \min\{B \mid \forall M \in R(R(M_0)): M(s) \leq B\} = 1$. Межа кожного місця в IPN дорівнює 1. $B(BFN) = \max\{B(s) \mid \forall s \in S\} = 1$. Згідно з Визначенням 5, IPN є обмеженою та безпечною. Це також може бути відображено у скінченності графа досяжного маркування в IPN.

3. Синхронна відстань В IPN, для $\forall s \in S, |\cdot s| = |s \cdot|$. Згідно з Визначенням 3, IPN є загальним графом маркування T. Наступна теорема може бути отримана для обчислення синхронної відстані між переходами в загальному графі маркування T.

Теорема 1. Нехай $\Sigma = (S, T, F, K, W, M)$ — це живий загальний граф маркування T, $\forall C \in \{S^* \cup T^*\}$ — будь-який спрямований цикл у $\Sigma, t_i, t_j \in T$, тоді

$$\alpha(t_i, t_j) = \begin{cases} \infty, \text{ якщо } t_i \in C \wedge t_j \notin C \\ \max \left\{ \sum_{s \in C} M(s) \right\}, \text{ інші.} \end{cases}$$

де $\alpha(t_i, t_j)$ — синхронна відстань між переходами t_i та t_j .

Доказ. Розглянемо два випадки.

1. Якщо $t_i \in C_1 \wedge t_j \notin C_1$ або $t_j \in C_2 \wedge t_i \notin C_2$ тоді $C_1 \neq C_2$, t_j та t_i не знаходяться в одному спрямованому циклі. Σ існує, для будь-якого додатного цілого числа $k, \exists \sigma \in T^*: M0[\sigma > \text{ та } \#(t_i/\sigma) = 0 \wedge \#(t_j/\sigma) \geq k$. Отже, t_i та t_j є несправедливими. Згідно з Визначенням 4, $\alpha(t_i, t_j) = \infty$.

2. Якщо існує спрямований цикл C у Σ , який проходить через t_i та t_j , тоді $\#(t_i/\sigma) = 0 \wedge \#(t_j/\sigma) \leq \sum M(s) = \alpha(t_i, t_j)$. Якщо є кілька циклів C , що проходять через t_i та t_j , тоді $\alpha(t_i, t_j) = \max \{ \sum_{s \in C} M(s) \} \geq \#(t_i/\sigma) \wedge (t_j/\sigma) = 0$. Теорема 1 доведена. IPN є типовим живим загальним графом маркування Т. Згідно з Теоремою 1, в IPN, для $\forall t_1, t_2 \in T, \alpha(t_1, t_2) = 1$. Це відображає надзвичайно високу синхронізацію між переходами в IPN.

На рисунку 5 видно, що кількість станів покращеної мережі Петрі АСС ефективно зменшена і більше не є нескінченною. Значення токенів у сигнальному місці не буде накопичуватися, щоб уникнути погіршення синхронізації покращеної мережі Петрі АСС. Крім того, синхронна відстань між переходами покращеної мережі Петрі не буде нескінченною, але залишається постійною величиною в певному діапазоні, що також показує, що синхронізація покращеної мережі Петрі значно покращилася[25].

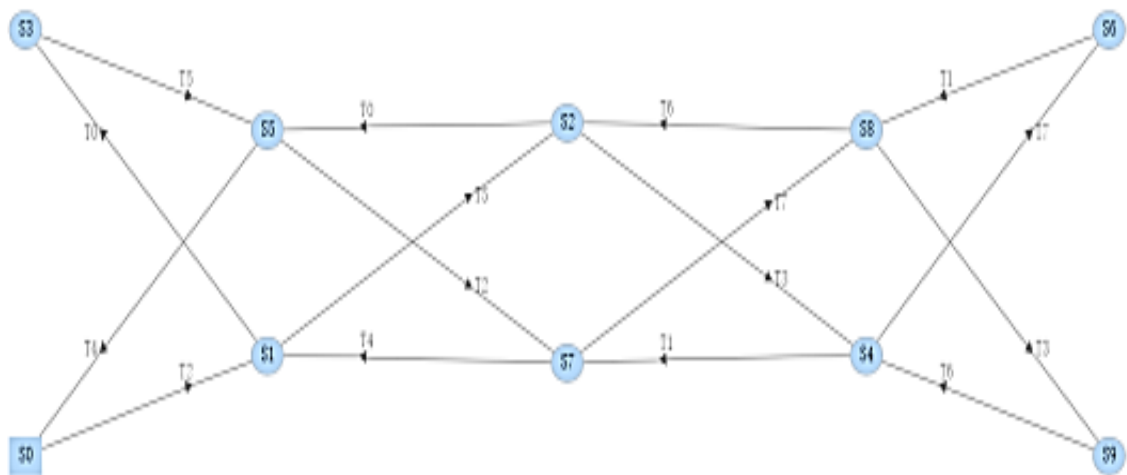


Рисунок 2.5 - Граф досяжного маркування покращеної мережі Петрі АСС.

2.5 Результати моделювання

У таблиці 2 наведено середню кількість токенів для кожного місця в мережі Петрі АСС після моделювання. За винятком місць S3 та S4, середня кількість токенів в інших місцях майже однакова. Зі збільшенням кількості моделювань, кількість токенів у місцях S3 та S4 також збільшується, що показує, що попередні набори переходів місць S3 та S4 можуть спрацьовувати нескінченно. Згідно з Визначенням 4 та Теоремою 1, мережа Петрі АСС є несправедливою та має нескінченну синхронну відстань. Це свідчить про те, що поточна система АСС має погану синхронізацію в процесі слідування за транспортним засобом, і існує ризик зіткнення ззаду.

Місце	100 спрацьовувань	500 спрацьовувань	1000 спрацьовувань
S0	0.32673	0.26747	0.28871
S1	0.48515	0.41317	0.43257
S2	0.18812	0.31936	0.27872
S3	3.42574	7.36327	12.38761
S4	3.38614	7.27146	12.45355

S5	0.36634	0.32335	0.28372
S6	0.44554	0.39321	0.37662
S7	0.18812	0.28343	0.33966

Таблиця 2.2 - Середня кількість токенів після моделювання в мережі
Петрі АСС

Таблиця 2.3 показує середню кількість токенів кожного місця в покращеній мережі Петрі АСС після моделювання. Очевидно, що кількість токенів у всіх місцях майже однакова. Зі збільшенням кількості моделювань середня кількість токенів у кожному місці не має очевидних змін. Тому в IPN спрацьовування попереднього набору переходів будь-якого місця є скінченним. IPN є справедливою та має відмінну синхронізацію, а ризик зіткнення ззаду з відповідною системою АСС також значно зменшується[26].

Місце	100 працьовувань	500 працьовувань	1000 срацьовувань
S0	0.36634	0.21956	0.23377
S1	0.52475	0.51896	0.50649
S2	0.10891	0.26148	0.25974
S3	0.52475	0.49301	0.4985
S4	0.50495	0.47705	0.49051
S5	0.37624	0.22754	0.23776
S6	0.52475	0.51896	0.50649
S7	0.09901	0.25349	0.25574
S8	0.48515	0.52096	0.50849
S9	0.46535	0.50499	0.5005

Таблиця 2.3. Середня кількість токенів після моделювання в покращеній мережі
Петрі АСС

Рисунок 2.6 додатково візуалізує зміни середньої кількості токенів у місцях S3 та S4. Рожева частина представляє модель до покращення. Синя частина показує покращену модель. Покращена модель має хорошу стабільність і може ефективно уникнути накопичення токенів. Зі збільшенням кількості моделювань токени в місцях S3 та S4 накопичувалися в мережі Петрі АСС. Однак кількість токенів у місцях S3 та S4 завжди залишалася в стабільному діапазоні в покращеній мережі Петрі АСС. Кількість токенів у місцях S3 та S4 зменшилася в середньому на 91,357%, що ефективно покращує синхронізацію системи АСС. Вищезгаданий висновок був доведений виходом Алгоритму 1. На ранній стадії проектування та розробки системи АСС покращення синхронізації може ефективно підвищити її надійність та зменшити ризик зіткнення ззаду під час фактичного процесу слідування[27].

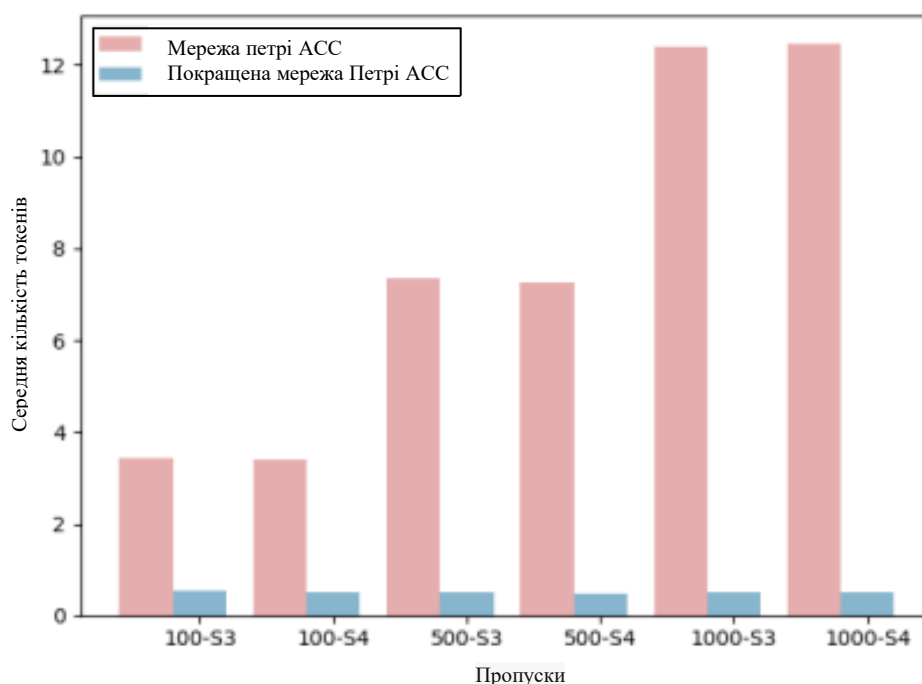


Рисунок 2.6 - Зміни середньої кількості токенів у місцях S3 та S4.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ АСС У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

3.1 Удосконалення адаптивного круїз-контролю (АСС) для автономних систем

Після детального визначення функціональних та нефункціональних вимог до вдосконаленої системи адаптивного круїз-контролю, викладених у розділі 2, постає завдання розробки архітектури, здатної задовольнити ці вимоги. Даний розділ присвячений опису структурної організації системи, її ключових підсистем та компонентів. Зокрема, буде продемонстровано, як обрані архітектурні рішення, що включають інтеграцію злиття сенсорних даних та передового контролера на основі модельно-прогнозного керування, забезпечують виконання визначених вимог щодо точності оцінки навколишнього середовища, надійного визначення провідного автомобіля та адаптивного реагування на динамічні дорожні сценарії.[28] Для наочності та спрощення опису роботи системи, у даній роботі буде використовуватись умовне позначення "синій автомобіль" для ідентифікації транспортного засобу, що є об'єктом взаємодії з проектованою системою ADAS (наприклад, як цільовий автомобіль для адаптивного круїз-контролю або перешкода для системи екстреного гальмування). Для того, щоб АСС працював правильно, автомобіль, в якому перебуває водій, який повинен визначити, як вигинається смуга перед ним, і який автомобіль є «провідним автомобілем», тобто перед транспортним засобом в смузі. Типовий сценарій з точки зору автомобіля з ADAS показаний на наступному рисунку. Синій автомобіль їде по кривій дорозі. На початку головним автомобілем є рожевий автомобіль. Потім фіолетовий автомобіль вривається в смугу руху синього автомобіля і стає провідним автомобілем. Через деякий час фіолетовий автомобіль переходить на іншу смугу, і рожевий автомобіль знову стає провідним. Рожевий автомобіль залишається провідним автомобілем і після цього. Конструкція АСС повинна реагувати на зміну ведучого автомобіля на дорозі. Поточні конструкції АСС в основному

покладаються на вимірювання дальності та дальності, отримані з радарів, і розроблені для найкращої роботи на прямих дорогах. Приклад такої системи наведено в Adaptive Cruise Control System using Model Predictive Control (MPC) і в Automotive Adaptive Cruise Control using FMCW Technology (Radar Toolbox) [10].

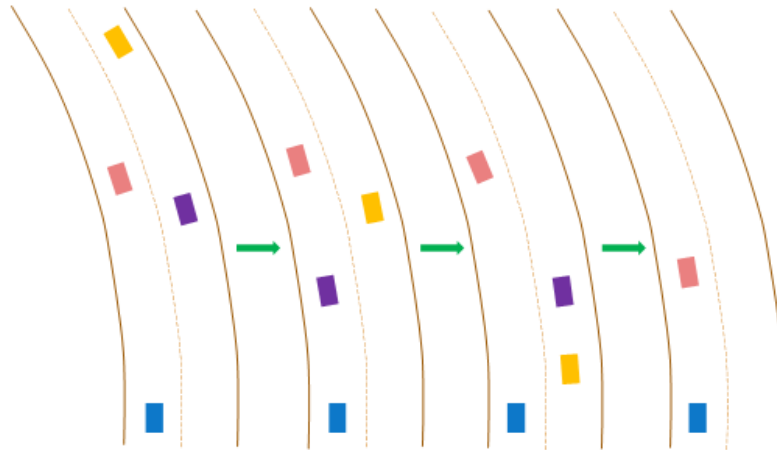


Рисунок 3.1 - Динаміка провідного автомобіля в системі адаптивного круїз-контролю на вигнутій дорозі

Переходячи від передових конструкцій систем допомоги водієві (ADAS) до більш автономних систем, ACC повинна вирішувати наступні проблеми:

1. Оцінка взаємного розташування і швидкостей автомобілів, які знаходяться поруч з автомобілем з ADAS і які мають значний бічний рух щодо нього.
2. Оцінка смуги руху попереду автомобіля з ADAS щоб з'ясувати, який автомобіль перед синім автомобілем є найближчим на тій самій смузі.
3. Реагування на агресивні маневри інших транспортних засобів у навколишньому середовищі, зокрема, коли інший транспортний засіб виїжджає на смугу руху синього автомобіля. Цей приклад демонструє два основні доповнення до існуючих конструкцій ACC, які відповідають цим критеріям: інтеграція датчиків та імплементація контролера на основі моделі прогнозного керування (MPC). Інтеграція даних з відеокамер та радара забезпечує такі переваги: 1. Поєднує в собі краще бічне вимірювання положення та швидкості,

отримане від датчиків зору, з вимірюванням дальності та швидкості дальності за допомогою радарних датчиків. 2. Датчик зору може виявляти смуги руху, надавати оцінку бічного положення смуги щодо синього автомобіля та розташовувати інші автомобілі на сцені щодо смуги руху автомобіля з ADAS. Цей приклад передбачає ідеальне визначення смуги руху. Прогностичний контролер MPC додає можливість реагувати на більш агресивні маневри інших транспортних засобів в навколишньому середовищі. На відміну від ПД-контролера, контролер MPC регулює швидкість руху синього автомобіля, зберігаючи при цьому суворе обмеження безпечної відстані. Таким чином, контролер може застосовувати більш агресивні маневри, коли навколишнє середовище швидко змінюється, подібно до того, що робив би водій-людина.

3.2 Огляд моделі випробувального стенду та результатів моделювання

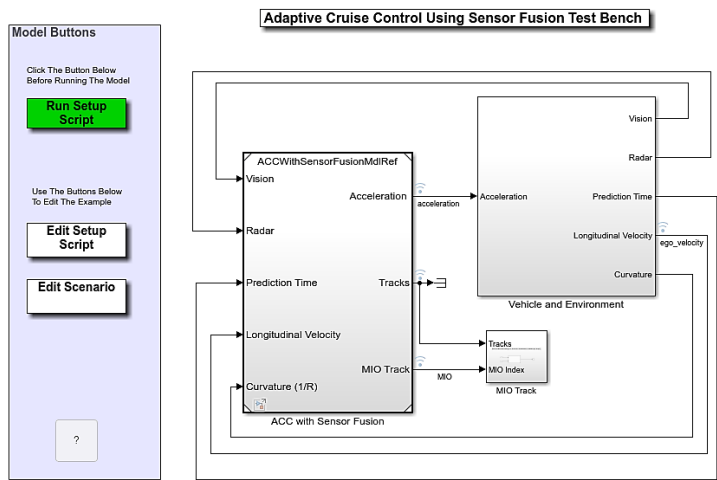


Рисунок 3.2 - Блок-схема моделі АСС в Simulink

Модель містить дві основні підсистеми: Підсистема 1. АСС з технологією Sensor Fusion, яка моделює інтеграцію датчиків та контролює поздовжнє прискорення автомобіля. Цей компонент дозволяє вибрати або класичний, або запропонований варіант прогностичного керування. Підсистема 2. Модуль «Транспортний засіб та оточення» моделює рух синього автомобіля і стан

навколишнього середовища. Моделі радарів та камер надають дані до підсистеми керування. Скрипт `helperACCSetsUp` завантажує певні константи, необхідні для моделі Simulink, такі як об'єкт сценарію, параметри транспортного засобу та параметри АСС. За замовчуванням АСС є класичним контролером. Скрипт також створює шини, які необхідні для визначення входів і виходів для моделі, на яку посилається система управління. Щоб нанести на графік результати симуляції та зобразити оточення автомобіля з ADAS, включаючи відстежувані об'єкти, використовують Bird's-Eye Score - інструмент візуалізації на рівні моделі. Наступні команди запускають симуляцію до секунд, щоб отримати зображення в середині симуляції, і виконуються знову аж до кінця симуляції, щоб зібрати результати:

```
sim('ACCTestBenchExample','StopTime','15') %Simulate 15 seconds
```

```
sim('ACCTestBenchExample') %Simulate to end of scenario
```

```
ans =
```

```
Simulink.SimulationOutput:
```

```
    logout: [1x1 Simulink.SimulationData.Dataset]
```

```
    tout: [151x1 double]
```

```
SimulationMetadata: [1x1 Simulink.SimulationMetadata]
```

```
ErrorMessage: [0x0 char]
```

Результати моделювання наведені на рис. 3.3, 3.4.

Bird's-Eye Score показує результати спільної роботи датчиків.

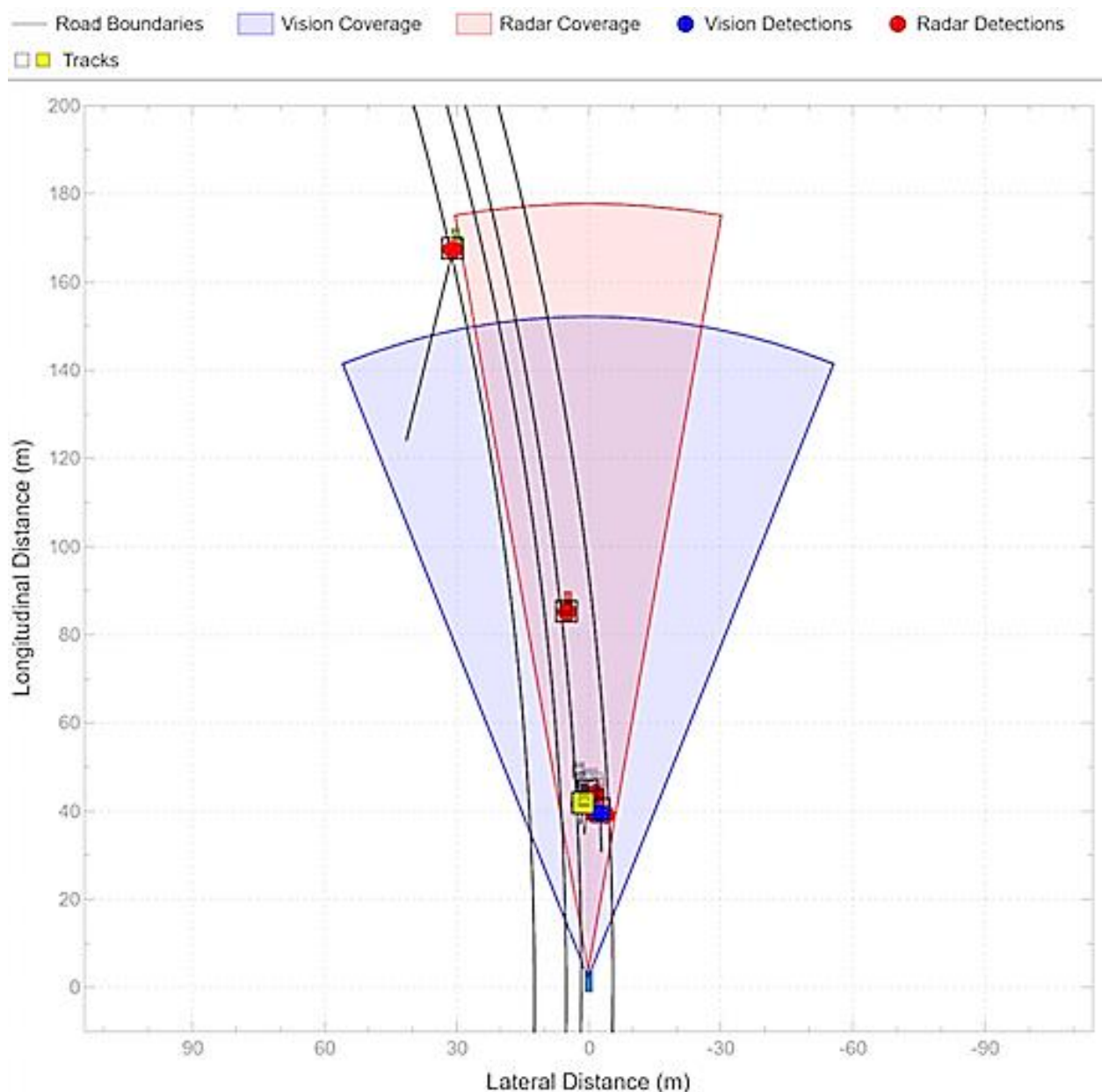


Рисунок 3.3 - Модель імітації адаптивного круїз-контролю (ACC) після першого моделювання

Він показує, як радар і датчики зору виявляють транспортні засоби в зонах покриття своїх датчиків. Він також показує треки, які підтримується блоком Multi-Object Tracker. Жовта доріжка показує найважливіший об'єкт (MIO): найближчу трасу перед автомобілем з ADAS у своїй смузі.[29] Ми бачимо, що на початку сценарію найважливішим об'єктом є автомобіль, що швидко рухається, попереду автомобіля з ADAS. Коли проїжджаючий повз автомобіль наближається до повільного автомобіля, він переходить на ліву смугу, і система

злиття датчиків розпізнає його як МІО. Цей автомобіль набагато ближче до автомобіля з ADAS і набагато повільніший за нього. Таким чином, ACC повинен уповільнити автомобіль.

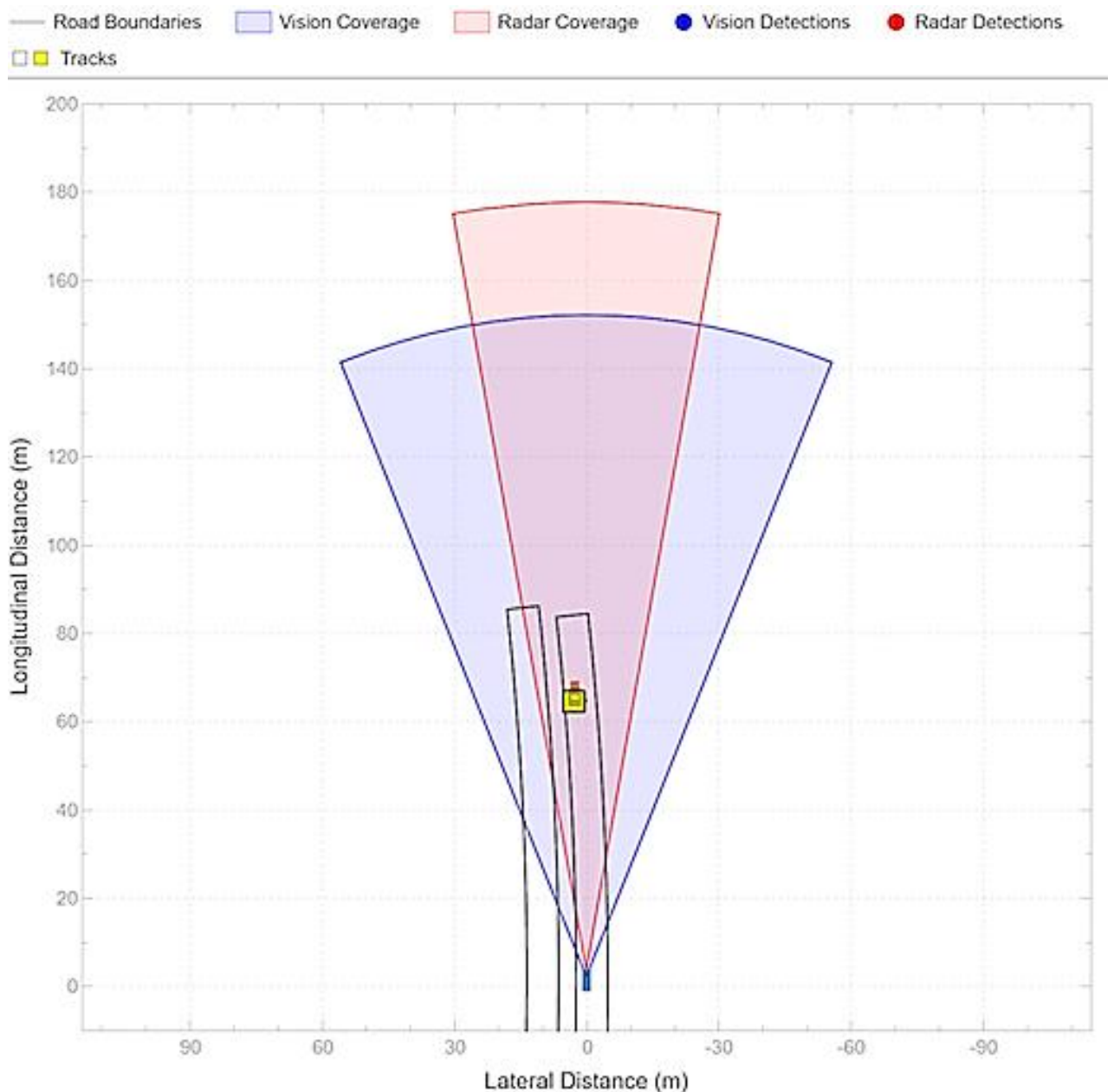


Рисунок 3.4 - Зона покриття датчиків та виявлення після першого моделювання

У наступних результатах для класичної системи ACC можна отримати: Верхній графік показує швидкість автомобіля з ADAS. Середній графік показує відносну відстань між автомобілем з ADAS та провідним автомобілем. Нижній графік показує прискорення автомобіля з ADAS. У цьому прикладі необроблені

дані з системи Tracking and Sensor Fusion використовуються для проектування АСС без постобробки. Можливі деякі «сплески» (середній сюжет) через невизначеність у моделі датчика, особливо коли рожевий або фіолетовий автомобіль в'їжджає в смугу руху синього автомобіля або виїжджає з неї. Результати моделювання без постобробки представлені на рис. 3.5.

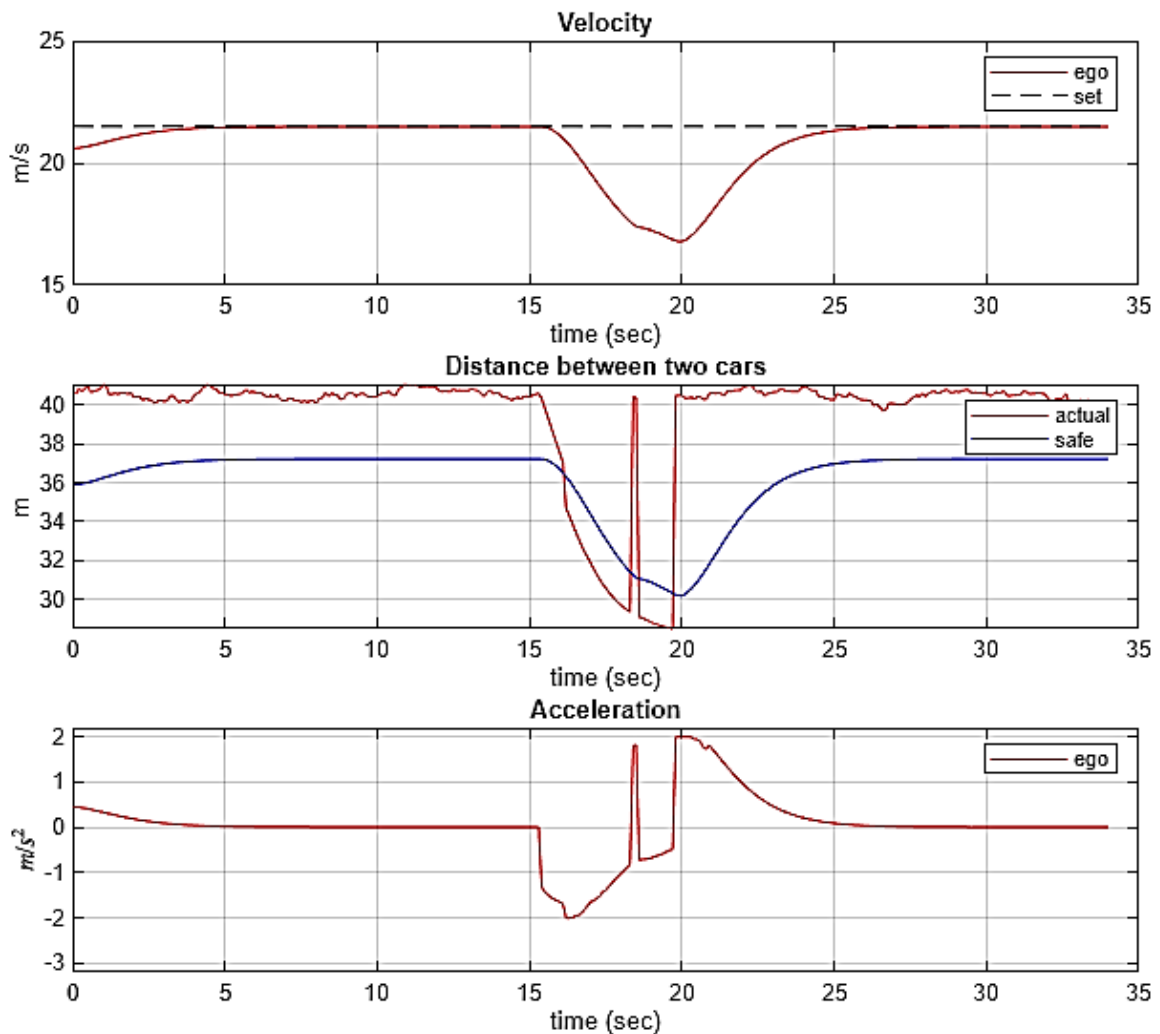


Рисунок 3.5 - Результати симуляції адаптивного круїз-контролю після першої симуляції

У перші 11 секунд головний автомобіль значно випереджає синє авто(середній графік). Синій автомобіль розганяється і досягає заданої водієм швидкості (верхній графік). Інший автомобіль стає провідним автомобілем від

11 до 20 секунд, коли автомобіль врізається в смугу руху сивого автомобіля (середній графік). Коли відстань між головним автомобілем і синім автомобілем велика (11-15 секунд), автомобіль з ADAS все ще рухається з заданою швидкістю. Коли дистанція стає невеликою (15-20 секунд), синє авто сповільнюється, щоб зберегти безпечну дистанцію від ведучого автомобіля (верхній графік). Від 20 до 34 секунд машина, що йде попереду, переїжджає на іншу смугу, і з'являється новий ведучий автомобіль (середній графік). Оскільки відстань між головним автомобілем і синім автомобілем велика, синій автомобіль розганяється доти, доки не досягне заданої швидкості в 27 секунд. Потім синій автомобіль продовжує рухатися із заданою швидкістю (верхній графік). На нижньому графіку видно, що прискорення знаходиться в межах $[-3,2]$ м/с². Плавна перехідна поведінка вказує на те, що комфорт водія задовільний. У конструкції АСС на основі MPC основна задача оптимізації формулюється шляхом відстеження заданої швидкості за умови дотримання безпечної відстані від головного автомобіля. Для реалізації моделі MPC використовується програмне забезпечення Model Predictive Control Toolbox:

```
hasMPCLicense = license('checkout','MPC_Toolbox');
if hasMPCLicense
    controller_type = 2;
    sim('ACCTestBenchExample','StopTime','15') %Simulate 15 seconds
    sim('ACCTestBenchExample') %Simulate to end of scenario
else
    load data_mpc
end
-->Converting model to discrete time.
-->Assuming output disturbance added to measured output #2 is integrated white
noise.
    Assuming no disturbance added to measured output #1.
-->"Model.Noise" is empty. Assuming white noise on each measured output.
ans =
```

Simulink.SimulationOutput:

logout: [1x1 Simulink.SimulationData.Dataset]

tout: [151x1 double]

SimulationMetadata: [1x1 Simulink.SimulationMetadata]

ErrorMessage: [0x0 char]

-->Converting model to discrete time.

-->Assuming output disturbance added to measured output #2 is integrated white noise.

Assuming no disturbance added to measured output #1.

-->"Model.Noise" is empty. Assuming white noise on each measured output.

Результати моделювання наведені на рис. 3.6, 3.7.

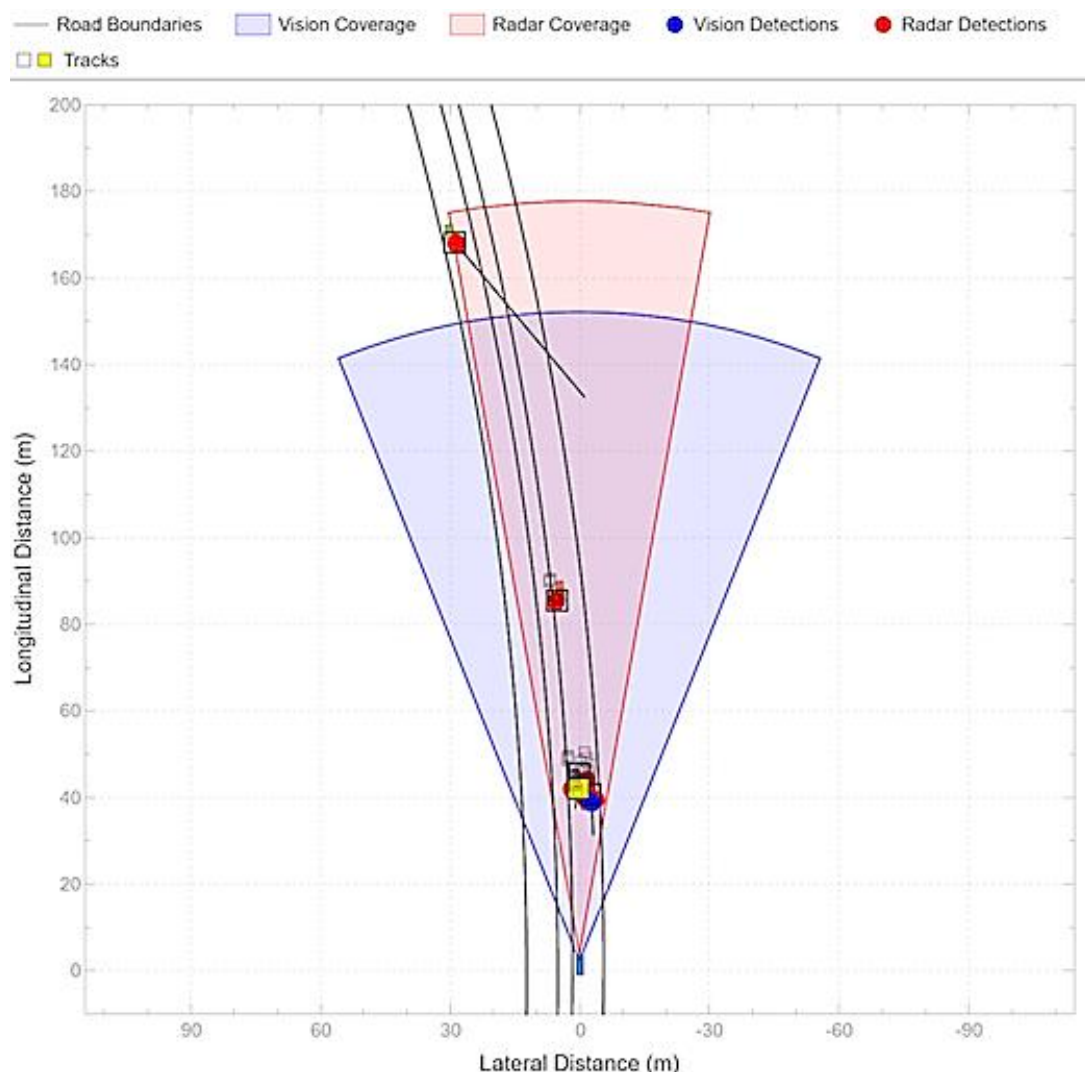


Рисунок 3.6 - Модель імітації адаптивного круїз-контролю (ACC) після другого моделювання

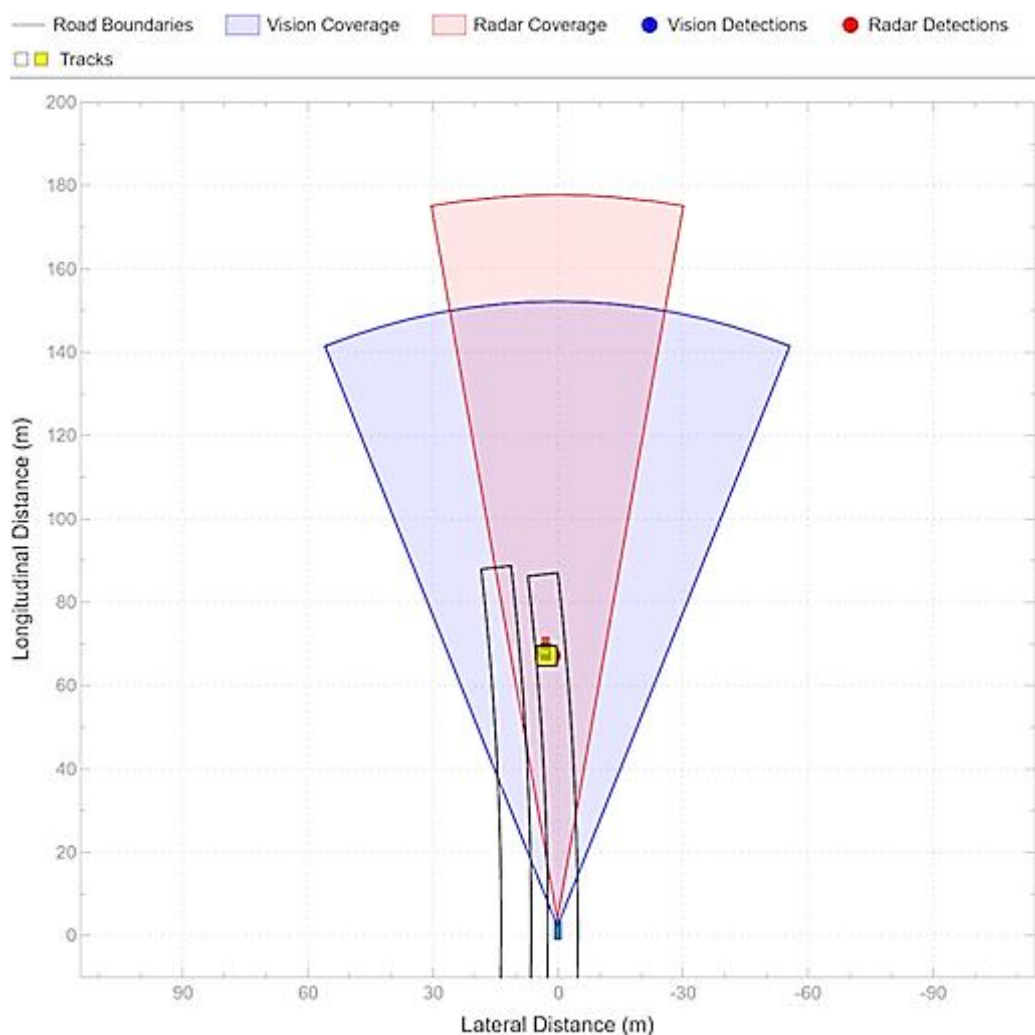


Рисунок 3.7 - Зона покриття датчиків та виявлення після другого моделювання

У результатах моделювання для АСС на базі МРС, аналогічно класичній конструкції АСС, досягаються цілі контролю швидкості та відстані. У порівнянні з класичною конструкцією АСС, АСС на основі МРС є більш агресивним, оскільки повністю контролює дросельну заслінку або гальмування для прискорення або уповільнення.[30] Така поведінка пов'язана з явним обмеженням відносної відстані. Агресивній поведінці можна віддати перевагу, коли відбуваються раптові зміни на дорозі, наприклад, коли головний автомобіль вповільнюється. Зменшення значення параметра Controller Behavior дозволяє досягти менш агресивної роботи контролера. Раніше згадані «сплески» на середньому графіку обумовлені невизначеностями в моделі сенсора. Результати

симуляції з менш агресивною поведінкою АСС наведені на рис. 3.8.

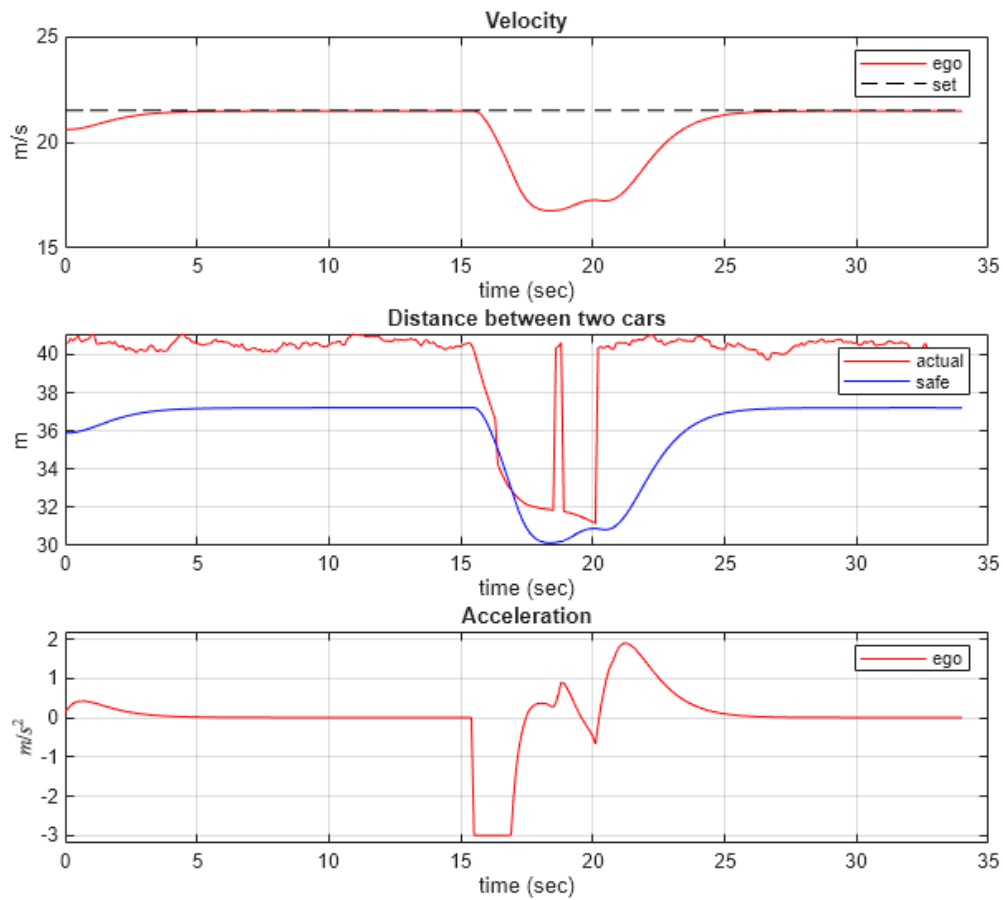


Рисунок 3.8 - Результати симуляції адаптивного круїз-контролю при менш агресивних налаштуваннях АСС

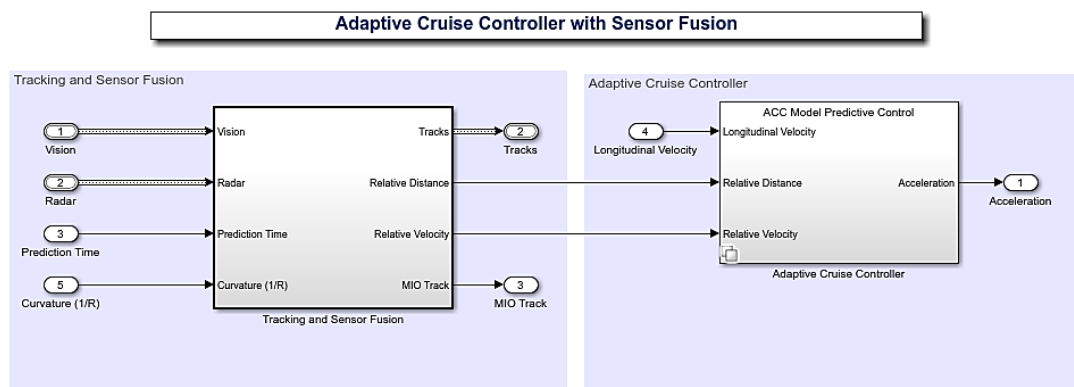


Рисунок 3.9 - Структура підсистеми АСС: Відстеження, злиття датчиків та контролер

Підсистема "Адаптивний круїз-контролер зі об'єднанням датчиків" містить два основні компоненти: Підсистема " Tracking and Sensor Fusion subsystem" Підсистема " Adaptive Cruise Controller subsystem"

3.3 Відстеження та об'єднання датчиків

Підсистема Tracking and Sensor Fusion обробляє візуальне та радарне виявлення, що надходять із підсистеми «Транспортний засіб та навколишнє середовище», і генерує всеосяжну картину ситуації навколо синього автомобіля, рис.3.10. Крім того, він надає АСС оцінку найближчого автомобіля на смузі перед головним транспортним.

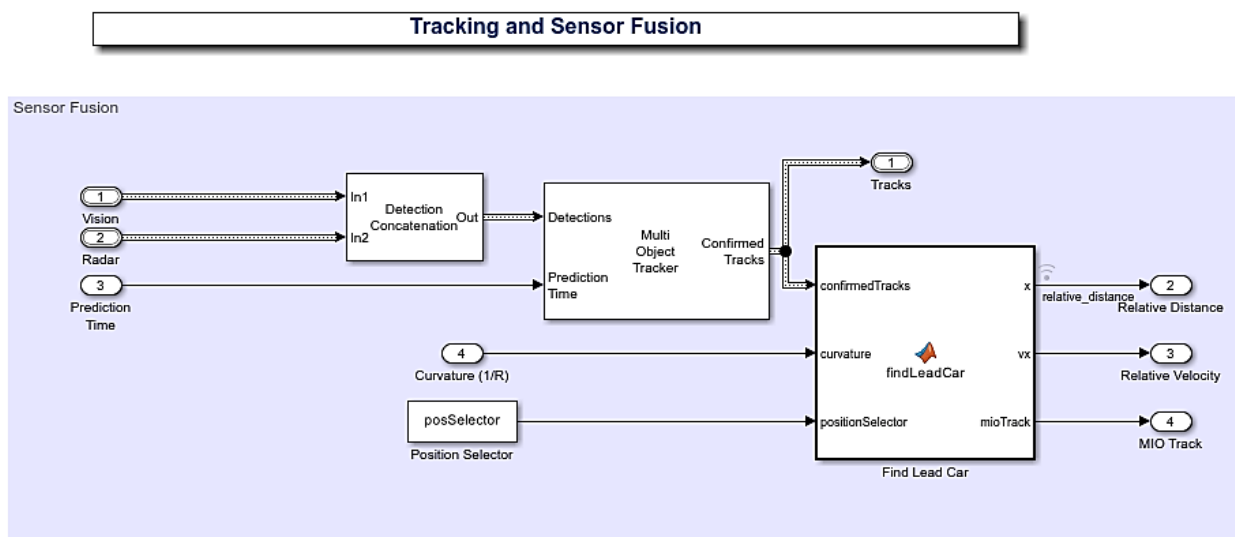


Рисунок 3.10 - Архітектура підсистеми відстеження та об'єднання даних датчиків (зору та радара)

Основним блоком підсистеми Tracking and Sensor Fusion є блок Multi-Object Tracker, вхідними даними якого є об'єднаний список всіх виявлень датчиків і час прогнозування. На виході з блоку Multi-Object Tracker виводиться список підтверджених треків. Блок Detection Concatenation об'єднує візуалізацію та радіолокаційне виявлення. Час прогнозування керується годинником у

підсистемі «Транспортний засіб і навколишнє середовище». Блок «Кластеризація виявлень» об'єднує кілька радарних виявлень, оскільки трекер очікує не більше одного виявлення на об'єкт на датчик. Функціональний блок MATLAB знаходить, який автомобіль знаходиться найближче до автомобіля з АСС і випереджає його в тій же смузі, використовуючи список підтверджених трас і кривизну дороги. Цей автомобіль називається головним автомобілем, і може змінюватися, коли автомобілі в'їжджають і виїжджають зі смуги перед транспортним засобом. Функція забезпечує положення і швидкість ведучого автомобіля по відношенню доперешкоди і індекс до найбільш важливого об'єкта (MIO) `track.findLeadCar`.

3.4 Адаптивний круїзний-контролер

Адаптивний круїз-контролер має два варіанти: класичний дизайн (за замовчуванням) і дизайн на основі MPC. Для обох конструкцій застосовані такі принципи проектування. Транспортний засіб, обладнаний АСС, використовує злиття датчиків для оцінки відносної відстані та відносної швидкості до головного автомобіля. АСС змушує автомобіль рухатися із заданою водієм швидкістю, зберігаючи безпечну дистанцію від головного автомобіля. Безпечна відстань між головним автомобілем і авто-перешкодою визначається як $D_{safe} = D_{default} + T_{gap} * V_x$, де інтервал за замовчуванням $D_{default}$ і розрив у часі T_{gap} є конструктивними параметрами V_x - поздовжня швидкість руху автомобіля. АСС генерує поздовжнє прискорення для автомобіля на основі наступних вхідних даних: поздовжня швидкість руху автомобіля з ADAS та відносна відстань між головним автомобілем та авто-перешкодою (за даними системи Tracking and Sensor Fusion)

Відносна швидкість між головним автомобілем та автомобілем з ADAS (за даними системи Tracking and Sensor Fusion) З огляду на фізичні обмеження

автомобіля з ADAS, поздовжнє прискорення обмежене діапазоном $[-3,2]m/s^2$ У класичній конструкції ACC, якщо відносна дистанція менша за безпечну, то основна мета полягає в уповільненні та дотриманні безпечної дистанції. Якщо відносна відстань більша за безпечну, то основна мета — досягти встановленої водієм швидкості, зберігаючи при цьому безпечну дистанцію. Ці принципи конструкції досягаються за рахунок блоків Min і Switch.[31]

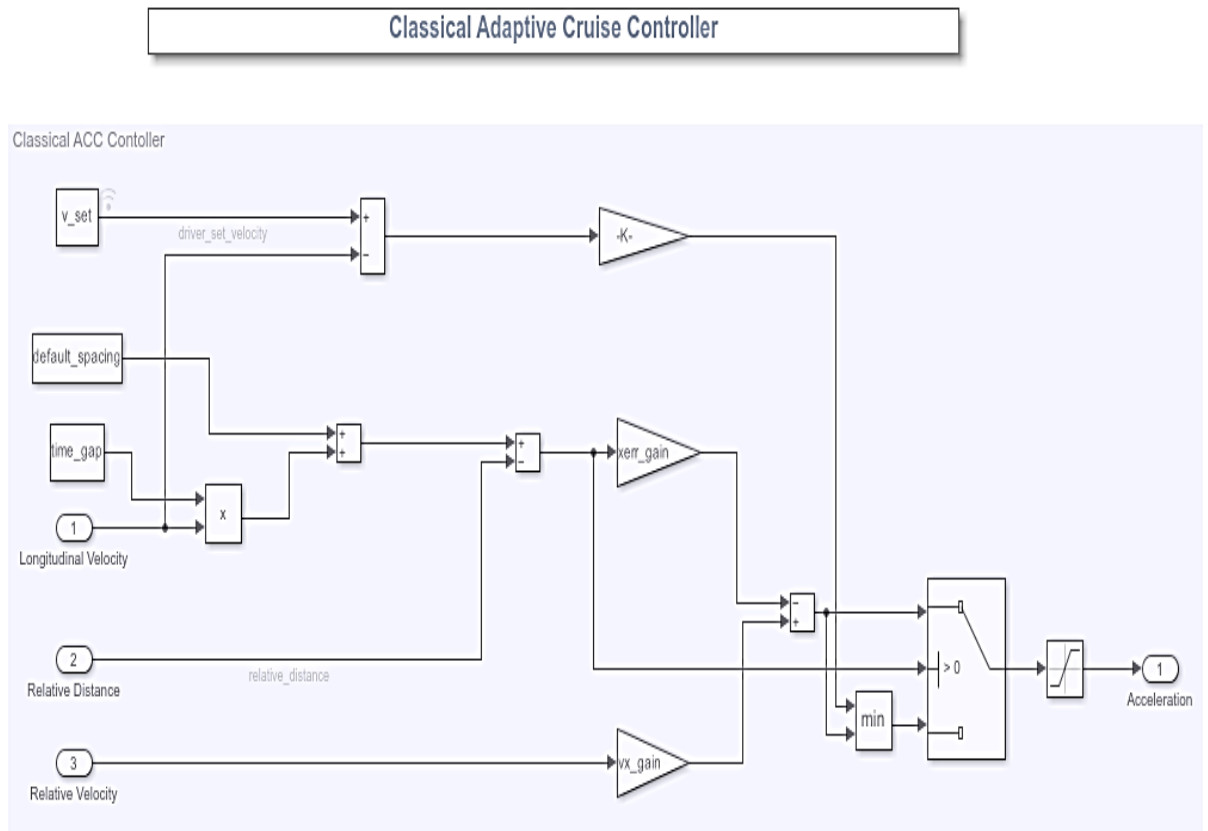


Рисунок 3.11 - Схема класичного адаптивного круїз-контролера

У проекті ACC на основі MPC основна задача оптимізації формулюється шляхом відстеження швидкості, встановленої драйвером, з урахуванням обмеження. Обмеження змушує відносну відстань завжди перевищувати

$$\text{minimize } |V - V_{set}|^2$$

безпечну відстань.

$$\text{subject to } \begin{aligned} & D_{relative} - D_{safe} \geq 0 \\ & -3 \leq u \leq 2 \end{aligned}$$

Для налаштування блоку системи адаптивного круїз-контролю використовуються параметри, визначені у файлі. Наприклад, лінійна модель для проектування ACC helperACCSetUpG і G отримується з динаміки транспортного засобу. Два блоки перемикачів реалізують просту логіку для обробки великих чисел від датчика (наприклад, датчик може повернутися, коли він не виявляє MIO).Inf.[32]

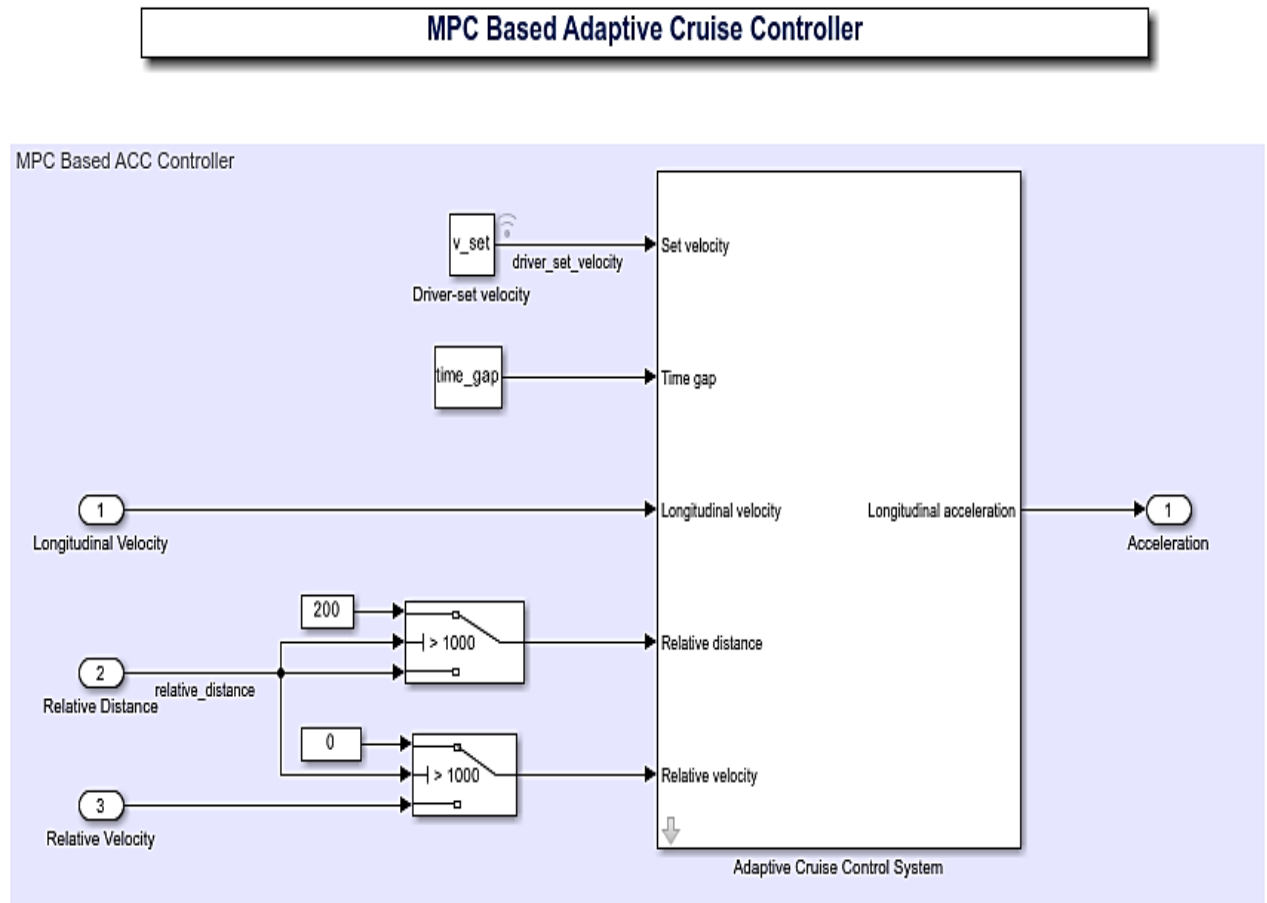


Рисунок 3.12 - Схема адаптивного круїз-контролера на основі прогнозного керування (MPC)

3.5 Транспортний засіб і навколишнє середовище

Підсистема «Транспортний засіб і навколишнє середовище» складається з двох частин: динаміка транспортного засобу, глобальні координати та симуляція

актора та датчика. Для відкриття підсистеми «Транспортний засіб і навколишнє середовище» використовується команда

open_system('ACCTestBenchExample/Vehicle and Environment').

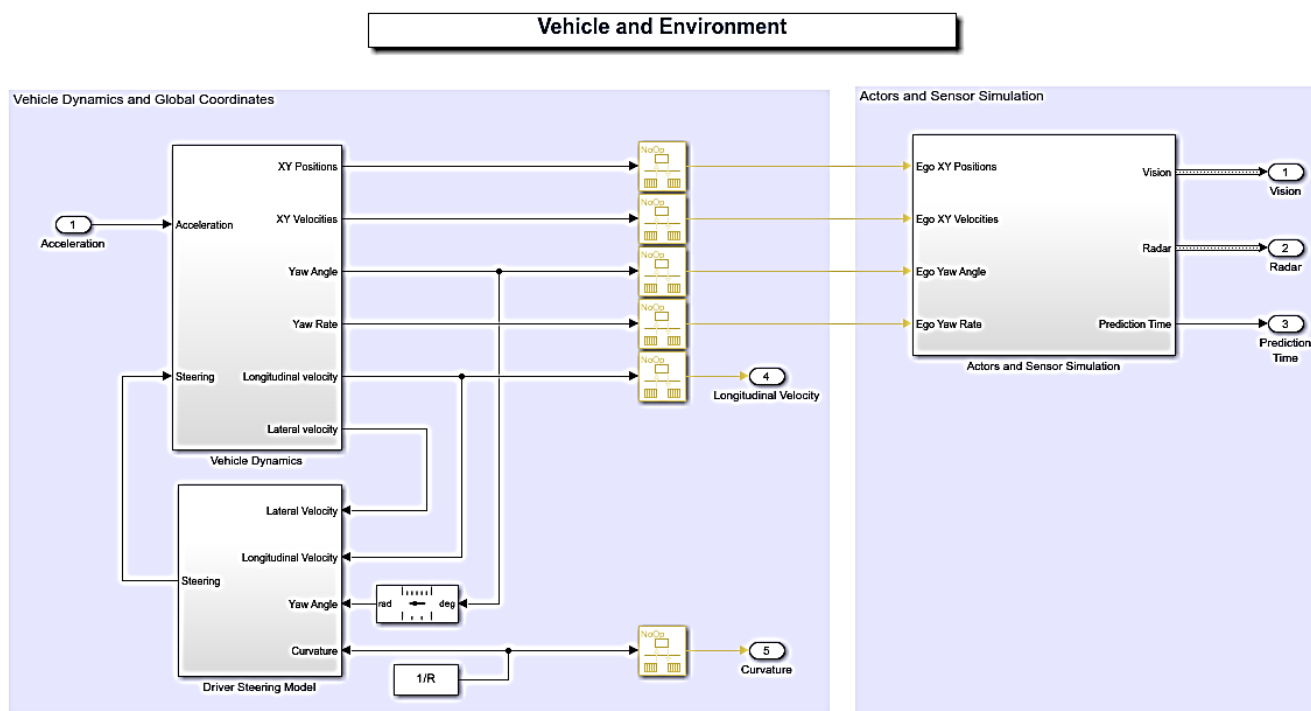


Рисунок 3.13 - Модель транспортного засобу та симуляція оточення з датчиками

Підсистема Vehicle Dynamics моделює динаміку автомобіля за допомогою блоку Bicycle Model - Force Input з набору інструментів автоматизованого водіння. Динаміка автомобіля з входом u (поздовжнє прискорення) і кут повороту переднього керма δ , наближено визначаються:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_y \\ \psi \\ \dot{\psi} \\ V_x \\ \dot{V}_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2C_f + 2C_r}{mV_x} & 0 & -V_x - \frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{mV_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z V_x} & 0 & 0 \\ -\frac{2C_f l_f - 2C_r l_r}{I_z V_x} & 0 & -\frac{2C_f l_f^2 + 2C_r l_r^2}{I_z V_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ \psi \\ \dot{\psi} \\ V_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{m} \\ 0 \\ \frac{2C_f l_f}{I_z} \\ 0 \end{bmatrix} \delta + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ V_y \psi \end{bmatrix}$$

У векторі стану V_y - поперечна швидкість, V_x - поздовжня швидкість і ψ - кут повороту. Вихідні дані динаміки автомобіля (такі як поздовжня швидкість V_x

і поперечна швидкість V_y базуються на фіксованих координатах тіла. Щоб отримати траєкторію, пройдену транспортним засобом, фіксовані координати тіла перетворюються в глобальні координати за такими співвідношеннями: $\dot{X} = V_x \cos(\psi) - V_y \sin(\psi)$, $\dot{Y} = V_x \sin(\psi) + V_y \cos(\psi)$. Кут повороту ψ і швидкість кута повороту $\dot{\psi}$ також перетворюються в градуси. Мета моделі керування водієм — утримувати транспортний засіб на смузі руху та слідувати вигнутій дорозі, контролюючи передній кут повороту δ . Ця мета досягається шляхом приведення похибки кута повороту e_2 і похибки бокового зміщення e_1 до нуля (рис. 4), де $e_1 = V_x e_2 + V_y$, $e_2 = \psi - \psi_{des}$. Потрібний кут повороту задається V_x/R (R позначає радіус кривизни дороги), рис.3.14.

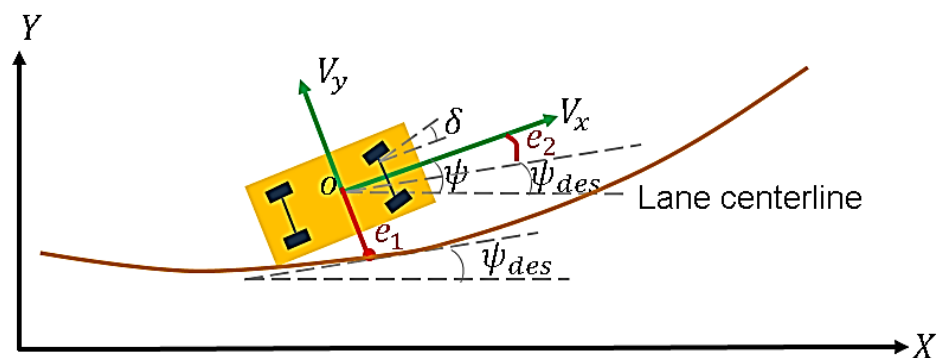


Рисунок 3.14 - Моделювання динаміки автомобіля за допомогою Bicycle Model

Підсистема об'єктів на дорозі і датчиків генерує синтетичні дані, необхідні для відстеження та об'єднання даних датчиків.[33] Перед запуском цього прикладу програма Driving Scenario Designer використовувалася для створення сценарію з вигнутою дорогою та кількома акторами, які рухаються по дорозі (рис. 3.15).

Actors and Sensor Simulation

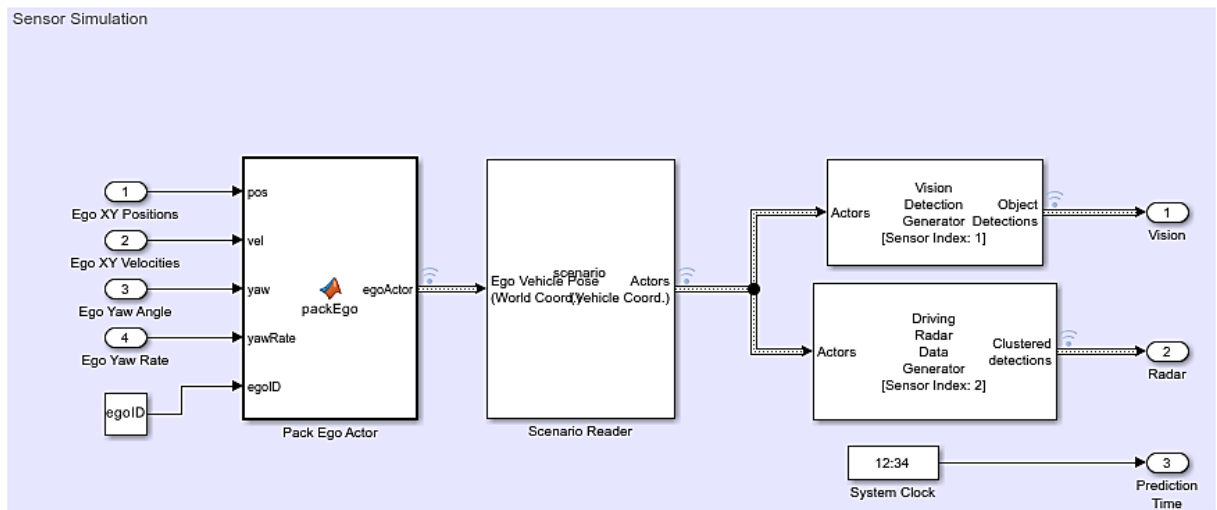


Рисунок 3.15 - Схема «Підсистема об'єктів і датчиків»

Рух автомобіля з АСС контролюється системою керування. Натомість положення транспортного засобу, швидкість, кут повороту та швидкість повороту надходять як вхідні дані з блоку Vehicle Dynamics і упаковуються в одну структуру положення об'єкта за допомогою функціонального блоку packEgo MATLAB. Блок Scenario Reader зчитує дані положення об'єктів зі змінної сценарію, завантаженої в робочу область. Модель запускає ACCTestBenchScenario.m для завантаження сценарію в робочу область на початку моделювання. Блок перетворює положення об'єктів зі глобальних координат сценарію в координати автомобіля які транслюються на шині, створений блоком. У цьому прикладі використовується блок Vision Detection Generator і блок Radar Detection Generator. Обидва датчики має велику відстань виявлення та забезпечують гарний огляд з передньої частини автомобіля, як це необхідно для АСС. Датчики використовують положення інших авто в координатах транспортного засобу з АСС, щоб створити списки виявлення автомобілів навколо.[11]

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було успішно реалізовано проєкт системи ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) для сучасного автомобіля, що є значним кроком до підвищення безпеки та комфорту водіння. Проведений аналіз показав, що впровадження таких систем, як адаптивний круїз-контроль, система екстреного гальмування, система утримання в смузі та система контролю сліпих зон, суттєво знижує ризик дорожньо-транспортних пригод та покращує загальний досвід взаємодії водія з автомобілем. Проєктування системи ґрунтувалося на комплексній методології, яка включала теоретичні дослідження, вибір оптимальних сенсорів (радари, камери, ультразвукові датчики), розробку алгоритмів обробки даних та прийняття рішень. Важливим етапом стало моделювання та симуляція роботи системи в середовищі Simulink. Simulink, як графічне середовище для моделювання, симуляції та аналізу динамічних систем, відіграв ключову роль у візуалізації та перевірці функціональності розроблених алгоритмів. Він дозволив створити складні моделі, що включають в себе поведінку автомобіля, роботу сенсорів та логіку керування ADAS. Завдяки можливості інтеграції різних блоків, що представляють фізичні компоненти та алгоритми керування, Simulink забезпечив гнучке та потужне середовище для оцінки ефективності розроблених рішень в різноманітних дорожніх умовах та сценаріях. Це дозволило виявити потенційні проблеми та їх усунути ще на етапі проєктування, мінімізуючи витрати та час на подальшу реалізацію. Особливе значення в процесі моделювання отримало застосування мереж Петрі (Petri nets) для формалізації та аналізу поведінки окремих підсистем ADAS. Мережі Петрі, завдяки своїй здатності моделювати паралельні та дискретні події, виявилися надзвичайно ефективними для опису логіки функціонування таких складних систем. Це дозволило детально проаналізувати стани системи, переходи між ними, а також умови активації та деактивації певних функцій. Інтеграція моделей, побудованих на основі мереж Петрі, в загальну модель Simulink значно

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		69

підвищила якість та достовірність симуляції. Така синергія між дискретною логікою мереж Петрі та неперервним моделюванням в Simulink дала змогу отримати більш повну та точну картину роботи ADAS, враховуючи як ідеальні, так і реальні сценарії експлуатації. Це, в свою чергу, дозволило тонко налаштувати параметри системи та оптимізувати її реакцію на різні дорожні ситуації, забезпечуючи високий рівень надійності та безпеки. Результати роботи підтверджують високий потенціал запропонованих рішень та їхню готовність до подальшого впровадження. Проєкт демонструє, що інтеграція сучасних технологій, таких як ADAS, є ключовим напрямком розвитку автомобільної індустрії, спрямованим на створення безпечнішого та розумнішого транспорту майбутнього. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на впровадженні елементів штучного інтелекту та машинного навчання для ще більшого покращення адаптивності та ефективності системи.

					ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

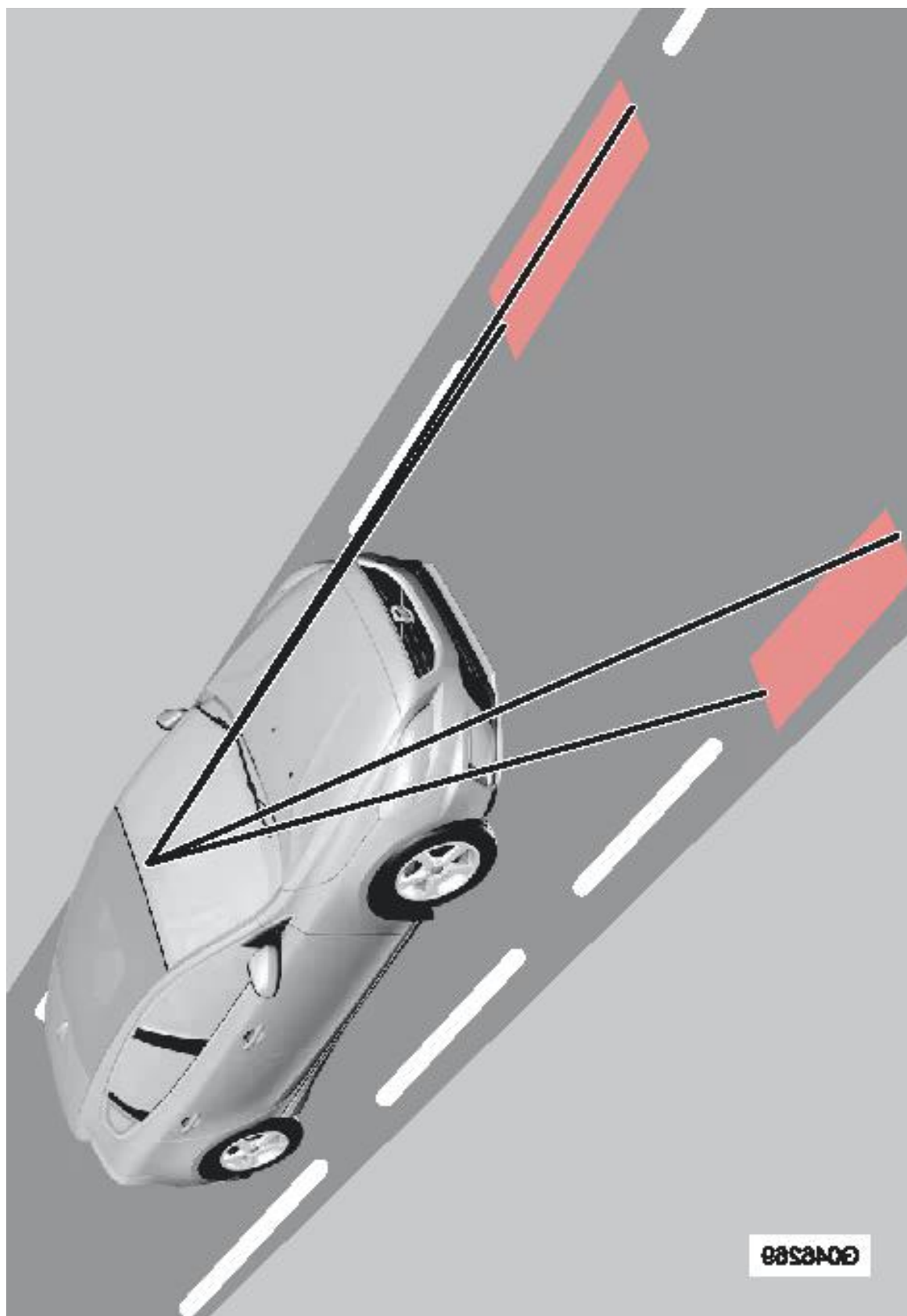
1. Особливості ADAS — технології, що набирає обертів. URL: <https://www.denso-am.eu/ua/news/особливості-adас-технології-що-набирає-обертів> (Дата звернення 9,0525)
2. Функція попередження про сходження зі смуги руху (LDW). URL: <https://www.volvocars.com/uk-ua/support/car/xc60/16w46/article/06c2bd43f78d6bfac0a801e80038b493/> (Дата звернення 10,0525)
3. Оптична система паркування(OPS). URL: <https://www.seat.ua/servis-ta-aksesuari/aktionen-und-tipps/technik-lexikon/optische-einparkhilfeoptisches-parksystem-ops>(Дата звернення 12,0525)
4. Automatic Parking and Path Following Control for a Heavy-Duty Vehicle. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1177290/FULLTEXT01.pdf> (Дата звернення 13,0525)
5. Адаптивний круїз-контроль. Що він вміє та чи вартий переплати? URL: <https://auto.ria.com/uk/news/articles/253393/adaptivnyj-kruiz-kontrol-chto-on-umeet-i-stoit-li-pereplaty.html> (Дата звернення 15,0525)
6. Kia Stonic: Гальмівна система / система ESC. URL: https://avtotema.org/kia-stonic/esc_system_elektronische_stabilitg_tssteuerung_-633.html (Дата звернення 17,0525)
7. Hydraulic brake buster . URL: <https://web.archive.org/web/20151118211848/http://www.cdxetextbook.com/brakes/brake/comp/hydrobrakebooster.html> (Дата звернення 20,0525)
8. Система екстреного гальмування Brake Assist (BAS) від Mercedes-Benz: 25 років з моменту випуску. URL: <https://mercedes-benz-kiev.com/systema-ekstrenoho-halmuvannya-brake-assist-bas-vid-mercedes-benz-25-rokiv-z-momentu-vypusku-3438> (Дата звернення 21,0525)

9. Впровадження системи екстреного гальмування попереджуючої дії на вантажних автомобілях для запобігання ДТП. URL: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.14.10.html> (Дата звернення 25,0525)
10. Adaptive Cruise Control with Sensor Fusion. URL: <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/adaptive-cruise-control-with-sensor-fusion.html> (Дата звернення 27,0525)
11. Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control. URL: <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html> (Дата звернення 28,0525)
12. Althoff, M.; Maierhofer, S.; Pek, C. Provably-Correct and Comfortable Adaptive Cruise Control. IEEE Trans. Intell. Veh. 2021, 6, 159–174 ст.
13. Haspalamutgil, K.; Adali, E. Adaptive switching method for Adaptive Cruise Control. In Proceedings of the 2017 21st International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 19–21 October 2017; pp. 140–145.
14. . IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2021, 22, 5589–5598.
15. Kim, Y.; Guanetti, J.; Borrelli, F. Compact Cooperative Adaptive Cruise Control for Energy Saving: Air Drag Modelling and Simulation. IEEE Trans. Veh. Technol. 2021, 70, 9838–9848.
16. Pretschner, A.; Jonsson, B.; Katoen, J.; Broy, M.; Leucker, M. Model-Based Testing of Reactive Systems: Advanced Lectures; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005.
17. Gao, W.; Gao, J.; Ozbay, K.; Jiang, Z.P. Reinforcement-Learning-Based Cooperative Adaptive Cruise Control of Buses in the Lincoln Tunnel Corridor with Time-Varying Topology. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2019, 20, 3796–3805.
18. Yu, W.; Yan, C.; Ding, Z.; Jiang, C.; Zhou, M. Analyzing E-Commerce Business Process Nets via Incidence Matrix and Reduction. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst. 2018, 48, 130–141.

19. Yu, W.; Yan, C.G.; Ding, Z.; Jiang, C.; Zhou, M. Modeling and Verification of Online Shopping Business Processes by Considering Malicious Behavior Patterns. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 2016, 13, 647–662.
20. Li, Z.; Niu, J.; Jing, X.Y.; Yu, W.; Qi, C. Cross-Project Defect Prediction via Landmark Selection-Based Kernelized Discriminant Subspace Alignment. IEEE Trans. Reliab. 2021, 70, 996–1013.
21. Wang, M.; Ding, Z.; Zhao, P.; Yu, W.; Jiang, C. A Dynamic Data Slice Approach to the Vulnerability Analysis of E-Commerce Systems. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst. 2020, 50, 3598–3612.
22. Ames, A.D.; Xu, X.; Grizzle, J.W.; Tabuada, P. Control Barrier Function Based Quadratic Programs for Safety Critical Systems. IEEE Trans. Autom. Control 2017, 62, 3861–3876.
23. Ames, A.D.; Grizzle, J.W.; Tabuada, P. Control barrier function based quadratic programs with application to adaptive cruise control. In Proceedings of the 53rd IEEE Conference on Decision and Control, Los Angeles, CA, USA, 15–17 December 2014; pp. 6271–6278.
24. Sadraddini, S.; Sivaranjani, S.; Gupta, V.; Belta, C. Provably Safe Cruise Control of Vehicular Platoons. IEEE Control Syst. Lett. 2017, 1, 262–267.
25. Park, J.; Özgüner, Ü. Model based controller synthesis using reachability analysis that guarantees the safety of autonomous vehicles in a convoy. In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2012), Istanbul, Turkey, 24–27 July 2012; pp. 134–139.
26. Chen, X.; Peng, H.; Wang, J.; Hao, F. Supervisory control of discrete event systems under asynchronous spiking neuron P systems. Inf. Sci. 2022, 597, 253–273.
27. Mazhin, G.A.; Bag-Mohammadi, M.; Ghasemi, M.; Feizi, S. Multi-layer architecture for realization of network virtualization using MPLS technology. ICT Express 2017, 3, 43–47ст.
28. <https://www.mathworks.com/help/radar/ug/automotive-adaptive-cruise-control-using-fmcw-technology.html> (Дата звернення 29,0525)

30. <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/autonomous-emergency-braking-with-sensor-fusion.html> (Дата звернення 29,0525)
31. <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/forward-collision-warning-using-sensor-fusion.html> (Дата звернення 30,0525)
32. <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/highway-lane-following.html> (Дата звернення 30,0525)
33. <https://www.mathworks.com/discovery/adas.html> (Дата звернення 30,0525)

Додаток А Схема розпізнавання допозжньої розмітки



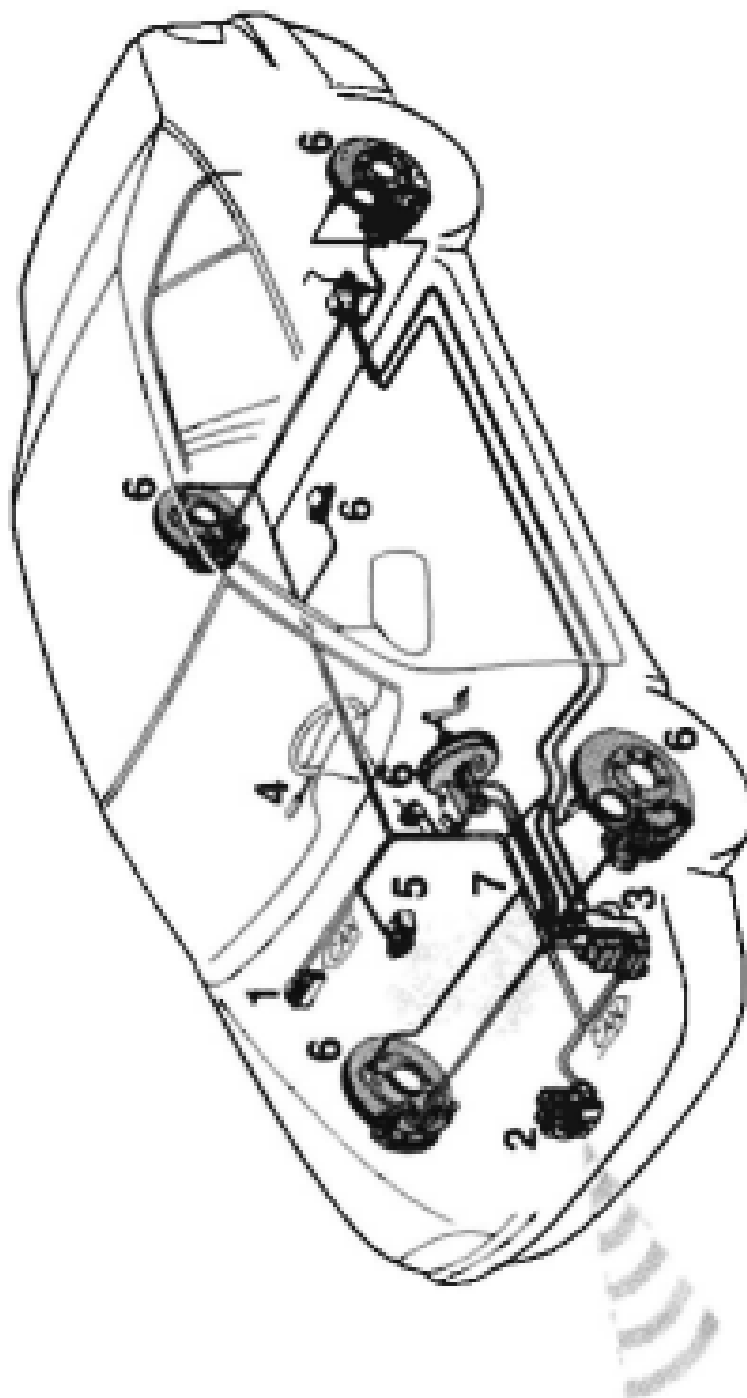
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ

Арк.

75

Додаток Б Схема антиблокувальної гальмівної системи (ABS) автомобіля.



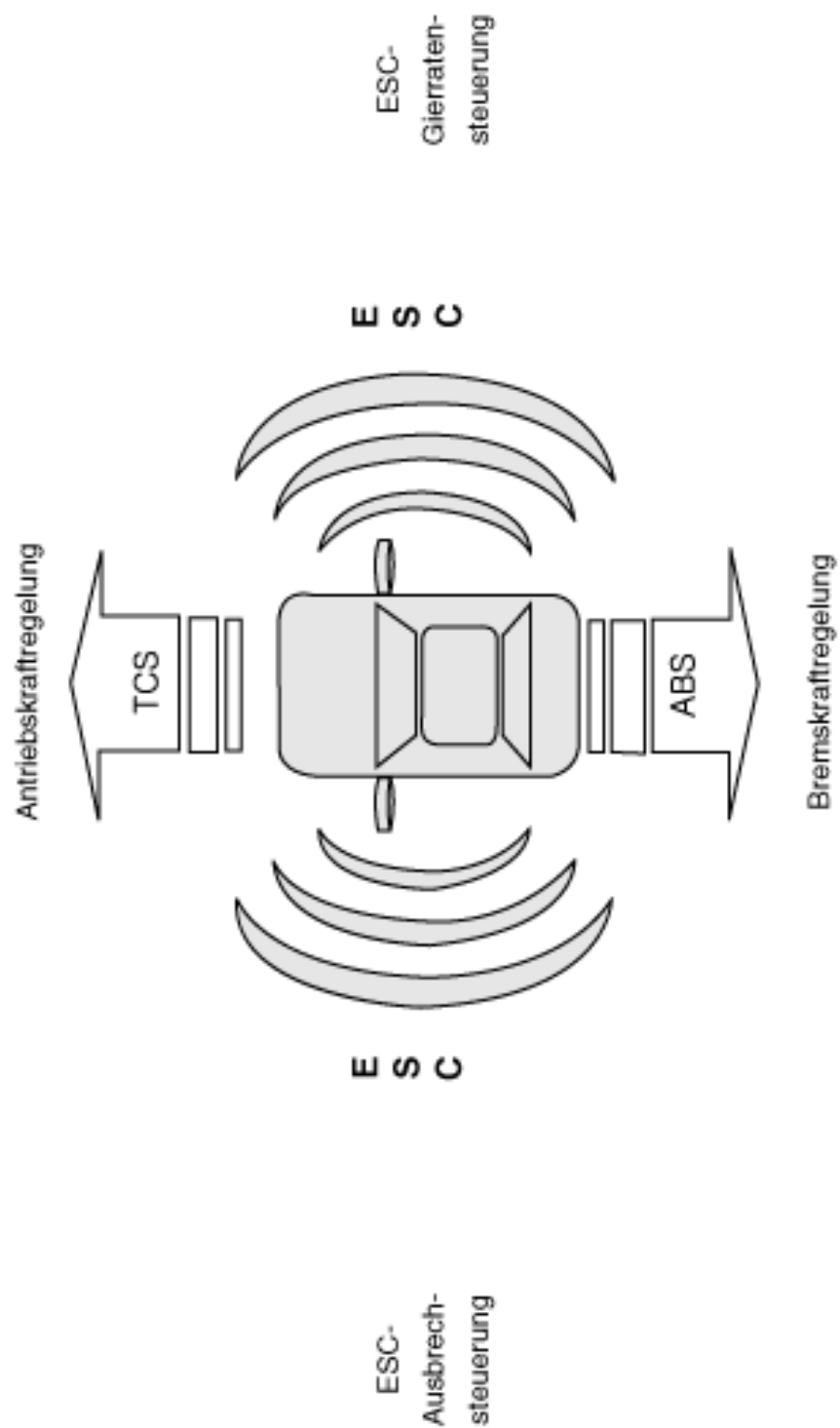
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ

Арк.

76

Додаток В Схема взаємодії основних систем активної безпеки автомобіля



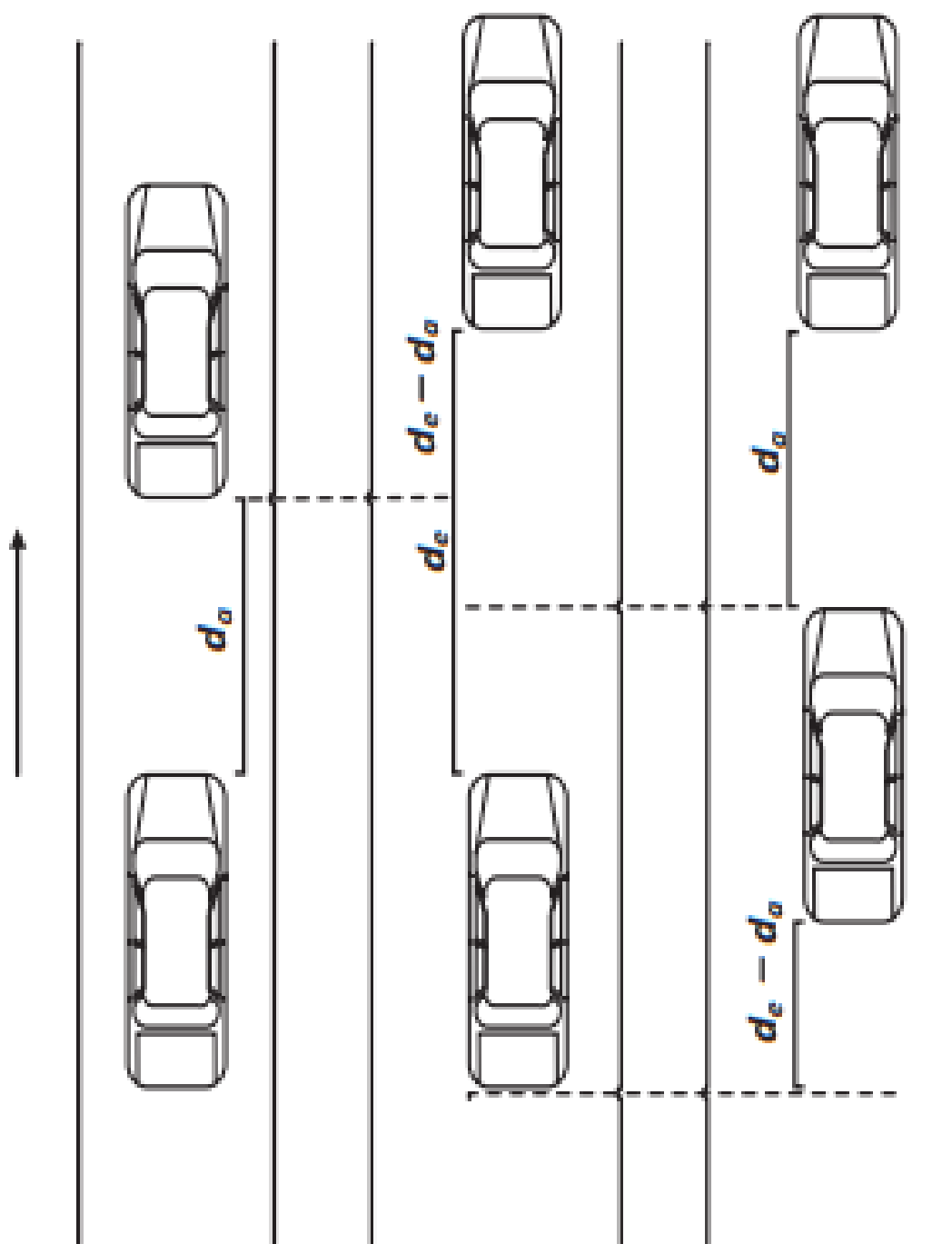
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ

Арк.

77

Додаток Г Схематична діаграма АСС



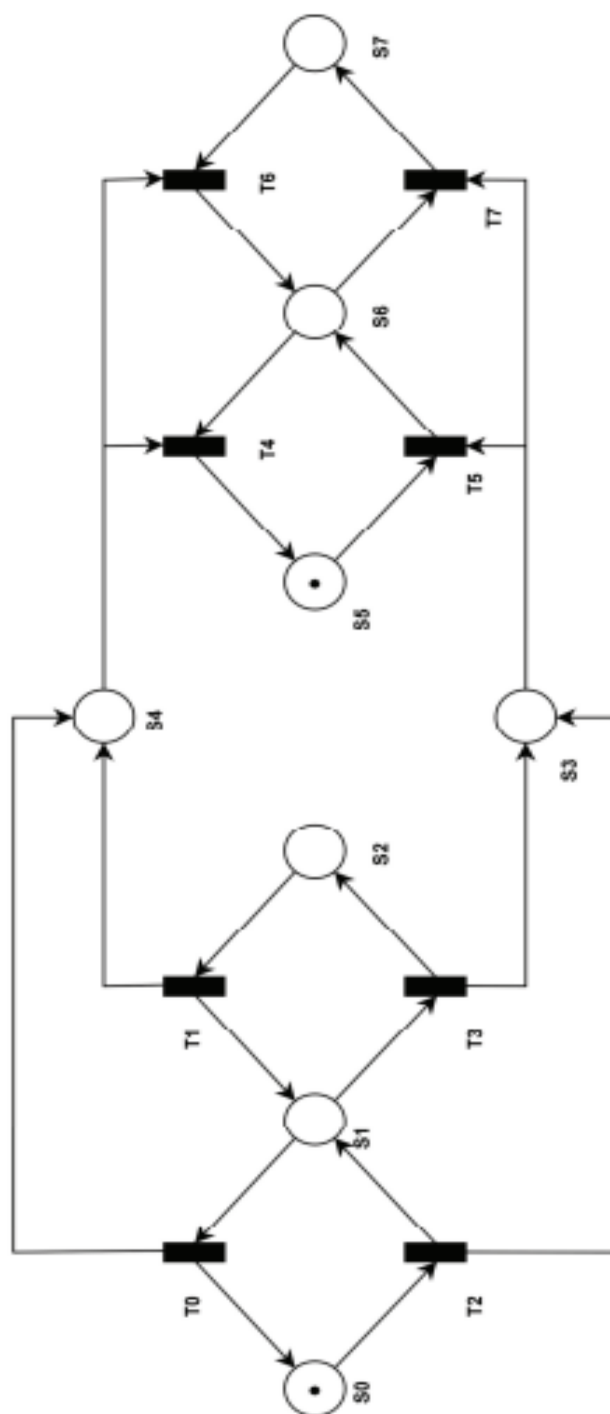
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ

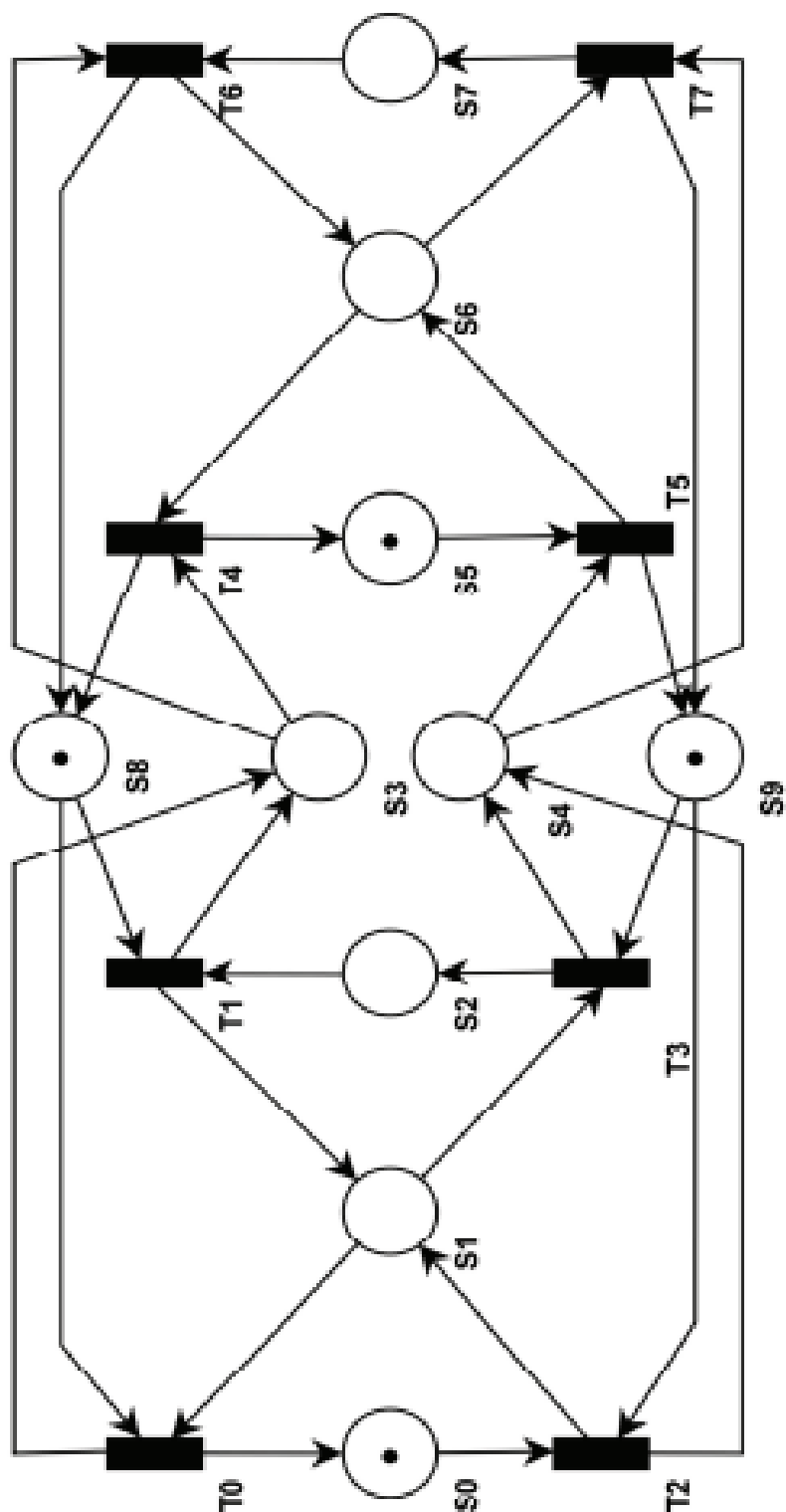
Арк.

78

Додаток Д Мережа Петрі АСС



Додаток Е Покращена мережа Петрі АСС



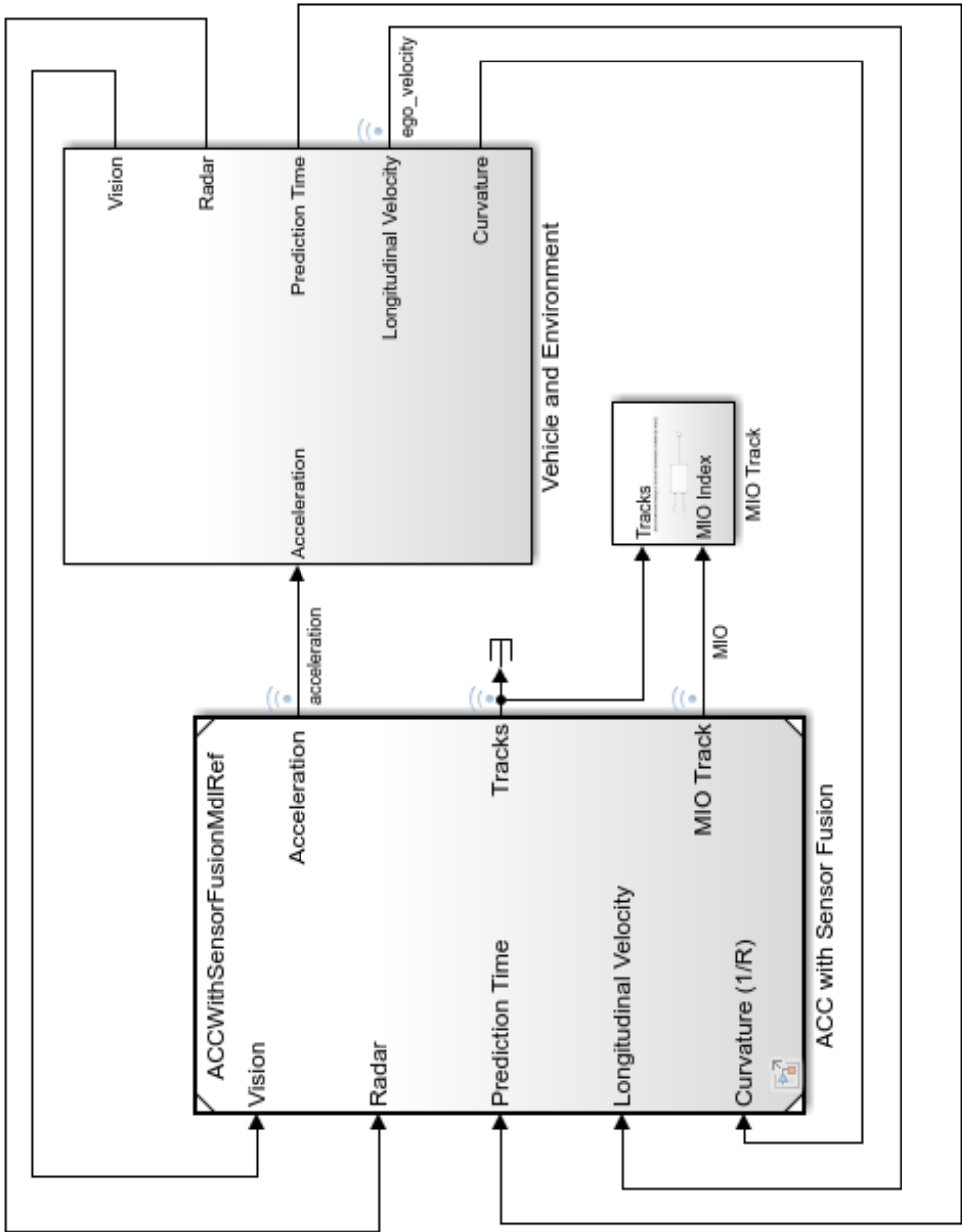
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ХНТУ 174.КРБ.25.015 ПЗ

Арк.

80

Adaptive Cruise Control Using Sensor Fusion Test Bench



Model Buttons

Click The Button Below Before Running The Model

Run Setup Script

Use The Buttons Below To Edit The Example

Edit Setup Script

Edit Scenario

?

